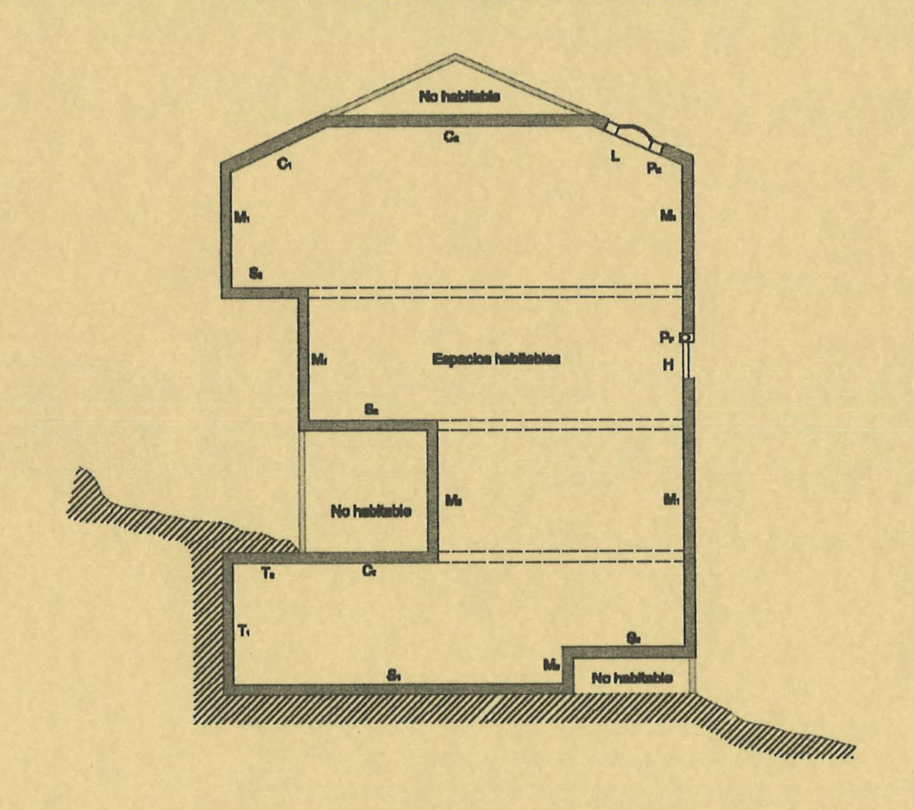
EL COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE LA ENVOLVENTE CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO: DETERMINACIONES DEL CTE (I)

por

F. JAVIER NEILA GONZÁLEZ

CÉSAR BEDOYA FRUTOS

CONSUELO ACHA ROMÁN



CUADERNOS

DEL INSTITUTO

JUAN DE HERRERA

DE LA *ESCUELA DE*

ARQUITECTURA

DE MADRID

2-20-23

EL COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE LA ENVOLVENTE CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO: DETERMINACIONES DEL CTE (I)

por

F. Javier Neila González

César Bedoya Frutos

Consuelo Acha Román

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE*
ARQUITECTURA
DE MADRID

2-20-23

C U A D E R N O S
D E L I N S T I T U T O
J U A N D E H E R R E R A

NUMERACIÓN

2 Área
20 Autor
23 Ordinal de cuaderno (del autor)

0 VARIOS
1 ESTRUCTURAS
2 CONSTRUCCIÓN
3 FÍSICA Y MATEMÁTICAS
4 TEORÍA
5 GEOMETRÍA Y DIBUJO
6 PROYECTOS
7 URBANISMO
8 RESTAURACIÓN

El comportamiento higrotérmico de la envolvente constructiva del edificio: Determinaciones del CTE (I)

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Gestión y portada: Nadezhda Vasileva Nicheva
CUADERNO 245.01/2-20-23
ISBN-13: 978-84-9728-254-3
Depósito Legal: M-33337-2007

EL COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE LA ENVOLVENTE CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO: DETERMINACIONES DEL CTE

1. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En la termodinámica se denominan transitorias a dos formas de energía, que son el trabajo y el calor. Se denominan transitorias porque existen únicamente cuando se produce un intercambio de energía entre dos sistemas. En lo relativo a la energía trabajo, existe cuando se produce una transferencia de masas, sin que sea preciso que medie diferencia de temperatura, sin embargo, si existe esa diferencia de temperatura, esa transferencia se denomina *flujo de calor*.

Este tema, que, por tanto, trata de transferencias de energía provocadas por diferencias de temperatura parte de dos conceptos: según el segundo principio de termodinámica, ese intercambio se produce desde el sistema en el cual la temperatura sea más elevada al sistema con menor temperatura y, según el primero, la cantidad total de calor cedida por un sistema debe ser absorbida en su totalidad por el otro.

La transmisión de calor se produce mediante tres mecanismos que se pueden dar separadamente o, lo que es más habitual, combinados. Estas tres formas de trasmitir el calor se conocen con los nombres de *conducción, convección* y *radiación.*

2. REGÍMENES TRANSITORIO Y PERMANENTE

Como se ha indicado, la transmisión de energía calorífica depende básicamente de la diferencia de las temperaturas de los sistemas que intercambian energía. Por eso, en una transferencia de calor, según se va calentando el cuerpo más frío, al variar su temperatura y, por tanto, la diferencia entre los dos, la velocidad con la que se produce esa transmisión de calor se reduce.

Este hecho complica enormemente la evaluación y el cálculo del proceso de transmisión de calor.

Para simplificarlo y llevarlo a una situación de cálculo más fácilmente abordable, se ha diseñado lo que se conoce como *régimen permanente de temperaturas*.

Este régimen permanente considera el funcionamiento de los sistemas independiente del tiempo y, por tanto, manteniendo las condiciones de trabajo estabilizadas durante un tiempo indefinido; es decir, que si dos sistemas van a intercambiar energía a través de un tercero, aquellos mantienen sus temperaturas constantes, y, por consiguiente, la temperatura de los puntos del cuerpo intermedio es estable. Por eliminación, en el resto de los casos, que se denominan de *régimen transitorio o variable*, el estado térmico no sólo depende de la temperatura de los sistemas que intercambian energía, sino también del tiempo.

3. LA CONDUCCIÓN

La conducción es el método de transmisión de energía térmica interna en los cuerpos sólidos puestos en contacto. El calor transmitido por conducción se dirige de las moléculas con energía más elevada, las que se encuentran a mayor temperatura, a las que tienen menor temperatura. Se produce mediante el intercambio de la energía cinética entre moléculas contiguas. Por tanto, es necesario que para que se produzca la conducción exista continuidad física en la materia, ya sea mediante el contacto de dos cuerpos distintos, o a través de un mismo cuerpo, cuando los extremos se encuentran a distintas temperaturas. En la conducción no se produce un desplazamiento apreciable de materia, aunque se puede dar un movimiento de electrones libres en ciertos casos concretos.

El ejemplo más clásico de conducción se produce al calentar el extremo de un elemento longitudinal conductor, como puede ser un metal. Cuando se calienta ese extremo, sus moléculas aumentan su vibración con la temperatura, chocando con las moléculas contiguas, que se mueven más lentamente, y comparten su energía cinética con ellas. A su vez, éstas la transmiten a las más alejadas, hasta alcanzar, finalmente, el otro extremo de la barra.

La ley que regula la transmisión de calor por conducción en un medio sólido isótropo es la ley de Fourier.

$$\frac{\Phi_c}{A} = \lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial e} \qquad [1]$$

Esta expresión indica el flujo de energía que por conducción atraviesa la unidad de superficie de un material de espesor ∂e en dirección normal a ella, cuando entre sus caras se establece una diferencia de temperaturas de $\partial\theta$.

El parámetro λ, que aparece en esta expresión, se denomina *conductividad térmica*, y es una propiedad característica de cada material. Su valor es prácticamente constante, aunque depende de la temperatura del material[1] y de algunas otras características, como la dirección de la fibra en materiales no isótropos, la densidad, la porosidad, el contenido de agua, etc., que como se comentará posteriormente, afectan

---

[1] Para los rangos de temperaturas que se dan en los materiales de un edificio, las variaciones de la conductividad térmica son pequeñas, pero para grandes cambios de temperatura, como los que se dan en una caldera, una chimenea, un acumulador de calor, etc., los cambios son muy significativos.

a la transmisión de calor, incorporando al fenómeno de la conducción factores propios de convección o radiación. Sus unidades son W/m·K. La tabla 31 incluye la conductividad térmica de los materiales constructivos más habituales.

El valor de la *conductividad térmica* de un material se calcula obteniendo "la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de un material configurado con extensión infinita y caras planoparalelas de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de 1 K". En el caso de materiales en los que no se transfiera el calor a través de él por conducción pura debido a su porosidad o a su configuración constructiva interna, se habla de una *conductividad térmica equivalente*. En algunas ocasiones, para mayor comodidad, se maneja el parámetro inverso a la conductividad térmica; este parámetro se denomina *resistividad térmica*, r (m·K/W).

La ley de Fourier permite conocer el gradiente térmico que se produce en un medio sólido conductor.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \bullet \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \qquad [2]$$

Esa expresión, que como se puede apreciar es para régimen transitorio ya que está referida al tiempo (∂t), se aplica a un sólido en el cual no predomina ninguna dirección. El gradiente de temperaturas es función de la *difusividad térmica* del material (a). La difusividad es igual a la conductividad térmica dividida por el producto de la densidad por el calor específico, e indica la velocidad de calentamiento que tiene un material, parámetro fundamental a la hora de la acumulación de calor con sistemas pasivos.

$$a = \frac{\lambda}{\rho \bullet c_p} \qquad [3]$$

Cuando se trabaja en régimen variable o transitorio, la difusividad, que sirve para dar información sobre la propagación del calor en el material, permite también conocer el tiempo que tarda un local en alcanzar la temperatura de régimen; es decir, en obtenerse las temperaturas superficiales previstas tras el precalentamiento del local. La expresión con la que se calcula el período de precalentamiento (t), en horas, es la siguiente:

$$t = \frac{0,8 \bullet e^2}{RP^2 \bullet a} \qquad [4]$$

en la que e es el espesor en metros del material, a es la difusividad térmica en m^2/h y RP la relación de potencias[2]. Esta relación, que es adimensional, se obtiene del sobredimensionado del equipo emisor, como incremento incorporado en el cálculo por las intermitencias de uso o por el escalonamiento de los modelos comerciales que lleva a una elección siempre al alza. Puede valer desde 1,0, cuando la potencia del emisor coincide con la carga del local, hasta valores elevados; un valor medio suele ser 1,5.

[2] La relación de potencias es el cociente entre la potencia de precalentamiento y la potencia de funcionamiento normal de una instalación.

La ecuación general de transmisión de calor por conducción, con la que se puede conocer la temperatura del cuerpo en un punto concreto, se puede ver modificada para una configuración específica del material. Si se trata de un material conformado como lámina de extensión infinita y caras planoparalelas, lo que nos aproxima a una situación constructiva convencional, la propagación de calor se dirige únicamente en una dirección, por ejemplo, la marcada por el eje x, con lo cual las diferenciales con respecto al eje y y al eje z son cero. De esta manera la expresión toma la siguiente forma:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) \qquad [5]$$

Por otro lado, si se supone el funcionamiento en régimen permanente en lugar de en régimen transitorio para facilitar su manejo, la diferencial con respecto del tiempo también se anula y la expresión pasa a ser independiente del tipo de material.

$$\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) = 0 \qquad [6]$$

Integrando esta expresión por dos veces se obtiene una ecuación con dos constantes que permite conocer la temperatura en el interior de la lámina.

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = A \qquad [7]$$

$$\theta = Ax + B$$

Esas dos constantes son función de las temperaturas de las dos caras, θ_1 la cara fría y θ_2 la cara caliente, y del espesor de la lámina, e (Fig. 1).

$x = 0$	$\theta = \theta_1$	$B = \theta_1$
$x = e$	$\theta = \theta_2$	$A = (\theta_2 - \theta_1)/e$

con lo que la expresión [7] queda definitivamente:

$$\theta_x = \frac{\theta_2 - \theta_1}{e} \cdot x + \theta_1 \qquad [8]$$

Esta expresión es la de una línea recta cuyo término independiente es la temperatura de la cara fría y cuya pendiente es la relación entre el salto térmico y el espesor. Si se estuviera en régimen transitorio de temperaturas, la representación sería una curva cóncava.

El producto del espesor (e) por la resistividad (r), o lo que es lo mismo, el cociente entre el espesor y la conductividad térmica, da lugar a un nuevo parámetro denominado *resistencia térmica* (R). Su inversa se denomina *conductancia térmica* (Λ).

$$R = \frac{1}{\Lambda} = r \cdot e = \frac{e}{\lambda} \quad [9]$$

Ambas magnitudes aparecen reflejadas en la ley de Fourier, que ahora toma el siguiente aspecto:

$$\frac{\Phi_c}{A} = \Lambda \cdot \partial\theta = \frac{1}{R} \cdot \partial\theta \quad [10]$$

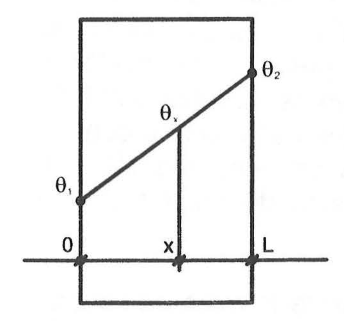


Fig. 1. Gradiente térmico en un muro de material homogéneo de caras planoparalelas en régimen permanente

4. LA CONVECCIÓN

Se define la convección como el mecanismo de transmisión de calor que tiene lugar en un fluido, provocado por los movimientos de la masa del mismo. La transferencia de calor que se produce en el interior de ese fluido sigue siendo un proceso de conducción, al ponerse en contacto moléculas del fluido entre sí, pero la energía se transporta de un lado a otro por el desplazamiento de la materia.

Si este desplazamiento de la materia se realiza espontáneamente, debido a las diferencias de densidad provocadas por las temperaturas, la convección se denomina natural o libre. Sin embargo, si ese movimiento se produce artificialmente mediante causas mecánicas externas, como un ventilador, una bomba de circulación, etc., se habla de convección forzada. Un ejemplo típico de convección provocada por diferencia de temperaturas es la que se produce en un líquido cuando entra en ebullición y uno de convección forzada el provocado en el aire de una habitación por un ventilador.

Tratamiento especial tiene la convección que se produce en un fluido en contacto con un sólido, como es el caso de las capas de aire próximas a un cerramiento. Como el problema fundamental de la convección es el movimiento del fluido, es necesario entender qué ocurre en este caso. La velocidad del aire en el interior de una capa puesta en contacto con una lámina sólida es variable, partiendo de un teórico valor nulo en la zona que está totalmente pegada a la superficie del sólido, elevándose su valor posteriormente, según nos alejamos de ella, hasta que llega el momento en el que la separación de la pared es suficientemente grande para que las variaciones de velocidad sean nulas y permanezca una velocidad constante, dependiente únicamente de la diferencia de temperaturas. En el caso de fluidos de baja viscosidad, como es el aire, el fluido que más interesa conocer, la capa de aire

próxima al sólido, en la cual se producen variaciones de velocidad, suele ser bastante pequeña, aunque variable ya que su espesor depende de la velocidad del fluido.

Esta lámina de aire se denomina capa límite de velocidad, y es aquella en la que la viscosidad influye sobre el movimiento. Fuera de esa capa límite los efectos de la pared sobre los movimientos convectivos pueden considerarse despreciables. El espesor de la capa límite de velocidad es difícil de precisar ya que, como se ha dicho, depende de la velocidad. Basándose en ello, el límite de esta capa se define arbitrariamente como el punto en el cual la velocidad del fluido se encuentre entre el 95 y el 99% del valor máximo que se obtiene en la zona de movimiento libre.

El movimiento del fluido dentro de la capa límite puede ser laminar o turbulento. Si es laminar las capas con distinta densidad se mueven paralelas unas a otras y a su vez a la pared, produciéndose intercambios de calor entre capas por conducción y dentro de ellas por convección. Sin embargo, cuando el régimen es turbulento el flujo paralelo a la pared se intercala con movimientos perpendiculares a ella, con lo cual se producen no solamente transferencias de calor por conducción, sino mezclas de fluidos de las distintas capas, lo que incrementa la transmisión de calor hacia el exterior de la pared.

Por otro lado, en esa capa de aire se produce un gradiente térmico en sentido perpendicular al paramento. Basado en este concepto se puede hablar de una capa límite térmica que se fundamenta, no en la velocidad el fluido, sino en su temperatura. Esta capa se encuentra limitada por una lámina en la cual la temperatura alcanza un porcentaje elevado de la máxima que se va a obtener en la zona libre de temperatura constante. La capa límite de velocidad no tiene que coincidir con la capa límite de temperatura, aunque frecuentemente coincide. Su dimensión suele encontrarse entre 12 y 19 mm, según la velocidad del aire; en su espesor influye notablemente el que la convección sea natural (da lugar a capas límite grandes) o forzada (da lugar a capas límite más pequeñas) (Fig. 2).

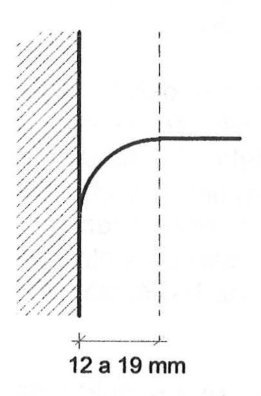


Fig. 2. Gradiente térmico en una capa límite

La capa límite, la conducción de calor entre las moléculas del fluido y su viscosidad influyen en el proceso de transferencia de calor por convección. Todo ello se puede unificar en una única ley que se denomina de Newton o *ley del enfriamiento de Newton*, que indica el flujo de calor que se transfiere por convección a través de la unidad de superficie.

$$\frac{\Phi_{cv}}{A} = h_c \cdot \Delta\theta \qquad [11]$$

expresión en la que h_c se denomina *coeficiente de convección* (W/m^2·K), y $\Delta\theta$ es la diferencia de temperaturas en °C, ya que siendo idéntico el valor a su diferencia en K, lo que sería más correcto, resulta así más aplicable a situaciones constructivas y de acondicionamiento.

Este coeficiente indica la cantidad de calor que se transfiere en la unidad de tiempo, por unidad de área, desde una superficie en contacto con el aire hacia él, cuando la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fluido es de 1 K.

En este coeficiente, aunque sea básicamente convectivo, influyen la conducción entre moléculas, como ya se ha indicado, y la radiación, aunque su efecto para aplicaciones a la construcción es prácticamente despreciable, ya que la radiación entre gases se produce para longitudes de onda muy concretas.

El coeficiente h_c depende, entre otro factores, de la forma de la superficie del sólido, de su posición, de su rugosidad y de su dimensión. Para cuantificar el valor de h_c es preciso conocer si el proceso convectivo se produce por convección natural o forzada. Cuando se trata de convección natural h_c depende de las diferencias de temperatura, del tipo de pieza, de su posición y de su dimensión. Por ejemplo, para superficies cilíndricas, cuando su dimensión es pequeña, el régimen de movimiento del aire posiblemente será laminar. En ese caso:

$$h_c = 1{,}32 \bullet \left(\frac{\Delta\theta}{D}\right)^{0{,}25} \qquad [12]$$

en la que D es el diámetro en metros.

Si se trata de grandes cilindros, en los cuales el régimen convectivo posiblemente será turbulento:

$$h_c = 1{,}24 \bullet (\Delta\theta)^{0{,}33} \qquad [13]$$

Si se trata de superficies planas colocadas verticalmente, de dimensiones pequeñas y régimen laminar:

$$h_c = 1{,}42 \bullet \left(\frac{\Delta\theta}{L}\right)^{0{,}25} \qquad [14]$$

en la que L es la longitud de la pieza en metros.

Si su dimensión es suficientemente grande y el régimen, por tanto, turbulento, el valor de h_c varía:

$$h_c = 1{,}31 \bullet (\Delta\theta)^{0{,}33} \qquad [15]$$

Si la superficie es horizontal, como en una cubierta, de pequeñas dimensiones y régimen laminar:

$$h_c = 1{,}32 \cdot \left(\frac{\Delta\theta}{L}\right)^{0{,}25} \quad [16]$$

en la que L es la longitud de la pieza en metros.

Por último, si esta superficie es de grandes dimensiones y el flujo de aire en régimen turbulento:

$$h_c = 1{,}52 \cdot (\Delta\theta)^{0{,}33} \quad [17]$$

La convección forzada depende fundamentalmente de la velocidad del aire; por ese motivo, para superficies planas colocadas verticalmente, si la velocidad es elevada[3], el coeficiente toma el siguiente valor:

$$h_c = 7{,}2 \cdot v_a^{0{,}78} \quad [18]$$

en la que v_a es la velocidad del aire en m/s.

Para esa misma superficie y en esa misma posición pero para velocidades más reducidas, de menos de 5 m/s:

$$h_c = 5{,}6 + 18{,}6 \cdot v_a \quad [19]$$

Cuando se trata de convección forzada en el interior de un conducto aparecen otras expresiones que dependen del caudal másico, del calor específico del fluido y del diámetro de la pieza.

Prefijar algunos de los datos que se precisan para resolver estas expresiones, por otro lado enormemente simples, puede resultar complicado: conocer la velocidad del aire, saber si la pieza se puede considerar grande o pequeña, o si el régimen es turbulento o laminar, es puramente circunstancial y un hecho meramente comparativo. Una forma de evitar esta limitación es emplear tablas que proporcionan los datos del coeficiente convectivo directamente según unas circunstancias constructivas y de diseño muy elementales.

5. LA RADIACIÓN

La radiación es una emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas que se manifiesta en cualquier cuerpo por el simple hecho de encontrarse a una cierta temperatura. Se aprecia la radiación al colocar un cuerpo frente a los rayos solares o frente a una superficie muy caliente (una chimenea, un radiador de infrarrojos, etc.). La cantidad de calor que emite un cuerpo por radiación se evalúa por la ley de Stefan-Boltzmann.

$$\frac{\Phi_r}{A} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [20]$$

en la que ε es la emisividad (-), σ la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5{,}66 \times 10^{-8}$ $W/m^2 \cdot K^4$) y T la temperatura absoluta del cuerpo en Kelvins.

[3] Entre 5 y 30 m/s (18 y 108 km/h).

En un cuerpo negro, la expresión anterior, al ser la emisividad la unidad, toma la siguiente forma:

$$\frac{\Phi_r}{A} = \sigma \bullet T^4 \qquad [21]$$

Esta ley la propuso experimentalmente Stefan, para posteriormente Boltzmann comprobar que se podía deducir de las leyes de la termodinámica.

El calor intercambiado por radiación entre dos cuerpos negros y de caras planas y paralelas es la diferencia entre el calor emitido por sus superficies, y será positivo hacia el cuerpo más frío.

$$\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \qquad [22]$$

Este intercambio, cuando se trata de superficies no planas, no negras o no paralelas, resulta mucho más difícil de evaluar y precisa del empleo de expresiones más complejas.

De la energía radiante que incide sobre un cuerpo una parte se pierde. Esto es debido a las características de la superficie, como sus capacidades absorbente, reflexiva y de transmisión.

La capacidad absorbente la regula la absortancia (α), la reflexiva la reflectancia (φ) y la de transmisión la transmitancia (τ). En una superficie transparente se debe cumplir que:

$$\alpha + \varphi + \tau = 1$$

Si la superficie es opaca, y por tanto la transmitancia nula, se cumplirá que:

$$\alpha + \varphi = 1$$

En el caso del aire la transmitancia es muy elevada y, sin embargo, la absortancia y la reflectancia prácticamente nulas, por lo cual la energía radiante atraviesa el aire como si se tratase del vacío. Únicamente en ciertos gases y para ciertas longitudes de onda se puede hablar de absorción.

$$\tau = 1$$

Con todo ello, se podría definir la radiación como la transferencia de energía a través de un medio inmaterial que no se calienta al ser atravesado; es decir, no es necesaria una continuidad material para transmitir calor por este mecanismo.

En la práctica la ley de Stefan-Boltzmann resulta complicada de aplicar. Para situaciones constructivas convencionales, en las que la diferencia de temperaturas entre los cuerpos que intercambian calor no sea excesivamente elevada, esta expresión se puede simplificar sustituyéndola por la siguiente:

$$\frac{\Phi_r}{A} = h_r \bullet \Delta\theta \qquad [23]$$

en la que h_r es el coeficiente de radiación y cuyas unidades son $W/m^2 \cdot K$. Para materiales constructivos típicos no debe variar considerablemente de 4,07 $W/m^2 \cdot K$. Su valor exacto se puede obtener con la siguiente expresión:

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (273,15 + Tm)^3 \qquad [24]$$

en la que σ es la constante de Stefan-Boltzmann, ε la emisividad de la superficie y Tm la temperatura media del entorno que intercambia calor por radiación (°C).

6. LA TRANSMITANCIA TÉRMICA

De los conceptos analizados hasta el momento se puede generalizar con gran facilidad las expresiones más completas que permiten calcular el flujo de calor a través de un cerramiento. En lo relativo a transferencias por conducción, si el flujo de calor que se pretende calcular se produce a través de un cerramiento multicapa, la resistencia del conjunto (R) se obtiene calculando el sumatorio de los productos de las resistividades térmicas por los espesores de las capas o los cocientes entre los espesores y las conductividades térmicas, ya que la conductividad o la resistividad térmicas son magnitudes por espesor unidad.

$$\Sigma R = \Sigma \frac{1}{\Lambda} = \Sigma (r \cdot e) = \Sigma \frac{e}{\lambda} \qquad [25]$$

Cuando la conducción se produce a través de materiales fibrosos, esponjosos o celulares, o en general todos aquellos que contengan celdillas o espacios llenos de aire, o no sean perfectamente homogéneos, como son los propios ladrillos huecos o perforados, el flujo de calor no se transmite únicamente por conducción sino que también se produce simultáneamente por convección, a través de las cámaras, y por radiación entre los elementos delimitadores de esas cámaras; en estos casos se cuantifica con la *conductividad térmica equivalente*.

El paso siguiente es calcular la resistencia total del elemento de cerramiento en una situación real, por tanto, afectado por las capas límite que se encuentran situadas a ambos lados de la pieza. Para ello habrá que sumar al dato obtenido de las resistencias internas las resistencias de las capas límite de temperatura.

Los parámetros inversos de esas resistencias se denominan *coeficientes superficiales de transmisión de calor* o *coeficiente pelicular* o de película ($W/m^2 \cdot K$) y son el resultado de los efectos conjuntos de las transferencias de calor de origen convectivo y las de origen radiante. Por ello su cuantía es la suma del coeficiente de convección y el coeficiente de radiación, y simplificadamente toma dos valores, uno para el ambiente interior (h_i) y otro para el ambiente exterior (h_e):

$$h = h_c + h_r$$

$$R_s = \frac{1}{h} = \frac{1}{h_c + h_r} \qquad [26]$$

Resistencia térmica superficial interior: $R_{si} = 1/h_i$

Resistencia térmica superficial exterior: $R_{se} = 1/h_e$

Tabla 1
RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES
(Tabla E.1 del CTE)

Sentido de circulación del flujo de calor (margen de oscilación de la dirección del flujo)	Cara exterior del cerramiento R_{se} ($m^2 \cdot K/W$)	Cara interior del cerramiento R_{si} ($m^2 \cdot K/W$)
Horizontal (0 a 30°) *Muros*	0,04	0,13
Ascendente (30° a 90°) *Cubiertas*	0,04	0,10
Descendente (30° a 90°) *Forjados sobre porches*	0,04	0,17

La resistencia térmica (R_T) total del cerramiento se calcula, por tanto, con la siguiente expresión:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R + R_{se} = R_{si} + \Sigma \frac{e}{\lambda} + R_{se} \qquad [27]$$

La inversa de esta resistencia térmica total es la *transmitancia térmica* (U):

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \Sigma \frac{e}{\lambda} + R_{se}} \qquad [28]$$

6.1. Cerramientos con cámaras de aire

Si en el cerramiento existe una discontinuidad física creada por una cámara de aire, habrá que añadir al conjunto de resistencias la propia de este elemento. Como es fácil suponer, en una cámara de aire no se producen transmisiones por conducción, salvo en los elementos de borde, pero sí se producen por convección y por radiación, al estar las dos caras que delimitan la cámara a distinta temperatura. El más importante de estos factores, el convectivo, puede optimizarse teniendo en cuenta que las capas límites implican un gradiente térmico, lo que indica que esas capas están ofreciendo una resistencia al paso del calor. Fuera de ellas ya no existe ese gradiente térmico por ser una zona de movimiento libre y temperatura constante por los intercambios de masas de aire, por tanto, para obtener la máxima resistencia, el espesor de la cámara debe aproximarse a dos veces el espesor de una capa límite, de tal modo que no quede entre ellas ninguna zona de movimiento libre de aire. Si la cámara de aire es mayor de esa dimensión óptima, habrá una zona de movimiento libre de aire que no ofrece resistencia y, por tanto, la cámara no mejora su comportamiento. Por otro lado, si la cámara es de espesor inferior, al reducirse el espesor de las capas límite se reduce también la resistencia que ofrece el conjunto.

La resistencia de la cámara de aire, aunque suele encontrarse tabulada para facilitar su manejo, ya que en ella se producen complejos fenómenos térmicos, se podría calcular aplicando los conceptos analizados anteriormente para los coeficientes peliculares y en función del espesor. El valor mayor debe aparecer en un espesor

equivalente a dos capas límite interiores, es decir, 3,8 cm; no obstante, las condiciones de calma de la cámara llevan el óptimo hasta los 5 cm. Por encima de este espesor, como se ha comentado, no se alcanzan mejoras, y de hecho el admitir la presencia de una zona de movimiento libre entre las capas límite lo único que va a provocar es un mayor movimiento del aire que afectaría a la dimensión de la capa límite, reduciéndola, con lo cual a partir de los 4 cm de cámara de aire se reducen las resistencias de las cámaras. Para dimensiones de cámaras inferiores a 4 cm, al ser más difícil el movimiento del aire, únicamente puede ser en régimen laminar.

Tabla 2
RESISTENCIA TÉRMICA DE LAS CAMARAS DE AIRE NO VENTILADAS
(Tabla E.2 del CTE)

TIPO DE CÁMARA DE AIRE	ESPESOR d (m)	Resistencia térmica R_c ($m^2 \cdot K/W$)	Factor de resistencia al vapor de agua μ (-)	Resisitividad al vapor r_v ($MPa \cdot m^2 \cdot s/g \cdot m$)
Sin ventilar horizontal	0,01	0,15	1	5,5
	0,02	0,16	1	5,5
	≥0,05	0,16	1	5,5
Sin ventilar vertical	0,01	0,15	1	5,5
	0,02	0,17	1	5,5
	≥0,05	0,18	1	5,5
Ligeramente ventilada horizontal	0,01	0,075	1	5,5
	0,02	0,08	1	5,5
	≥0,05	0,08	1	5,5
Ligeramente ventilada vertical	0,01	0,075	1	5,5
	0,02	0,085	1	5,5
	≥0,05	0,09	1	5,5

Si las cámaras de aire se encuentran ventiladas, el grado de ventilación afecta a lo explicado anteriormente y dificulta el cálculo analítico preciso de la resistencia de la cámara; a pesar de ello existen procedimientos simplificados, como los que aparecen en el Código Técnico de la Edificación (CTE)[4], que permiten abordar el cálculo en estos casos.

El CTE contempla tres supuestos de ventilación en las cámaras:

1. Cámaras de aire débilmente ventiladas (consideradas como sin ventilar)

$S_{aberturas} \leq 500\ mm^2$ por m de longitud horizontal de muro (cámaras verticales)

$S_{aberturas} \leq 500\ mm^2$ por m^2 de superficie (cámaras horizontales)

2. Cámaras de aire ligeramente ventiladas

$500\ mm^2 < S_{aberturas} \leq 1500\ mm^2$ por m de longitud horizontal de muro (cámaras verticales)

[4] Apartado HE 1, Ahorro de energía-Limitación de demanda energética.

$500\ mm^2 < S_{aberturas} \leqq 1500\ mm^2$ por m^2 de superficie (cámaras horizontales)

3. Cámaras de aire muy ventiladas

$S_{aberturas} > 1500\ mm^2$ por m de longitud horizontal de muro (cámaras verticales)
$S_{aberturas} > 1500\ mm^2$ por m^2 de superficie (cámaras horizontales)

Las cámaras de aire débilmente ventiladas se calculan como cámaras de aire no ventiladas. Las cámaras de aire ligeramente ventiladas se calculan poniendo como resistencia de la cámara el 50% del valor reseñado en la tabla 2. Las cámaras de aire muy ventiladas se calculan considerando que sólo aportan resistencias térmicas las capas situadas entre la cámara y el interior del local, incorporando en el sumatorio de resistencias dos resistencias superficiales interiores.

$$U_{débilmente} = \frac{1}{R_{si} + R_C + \Sigma R + R_{se}}$$

$$U_{ligeramente} = \frac{1}{R_{si} + \frac{R_C}{2} + \Sigma R + R_{se}}$$

$$U_{muy} = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R_{(\text{capas entre la cámara y el interior})} + R_{si}} \qquad [29]$$

R_c $R_c/2$

R_{se} R_{si} R_{se} R_{si} R_{si} R_{si}

Débilmente o no ventilada | Ligeramente ventilada | Muy ventilada

Fig. 3. Los tres casos posibles de cámaras de aire

6.2. Medianerías

Las medianerías (U_{MD}) se calcularán como un cerramiento vertical convencional, en el que se consideran dos resistencias superficiales interiores.

$$U_{MD} = \frac{1}{R_{si} + \Sigma R + R_{si}} \qquad [30]$$

6.3. Piezas cilíndricas

La expresión [27] permite calcular la resistencia térmica en piezas plano paralelas, que son las más abundantes en los edificios. Sin embargo, las tuberías van

aisladas con piezas cilíndricas, las coquillas. La expresión aplicable a las coquillas es la siguiente:

$$\frac{1}{R_{tub}} = \frac{\lambda}{\left(\frac{D_i}{2}\right) \cdot \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)} \quad [31]$$

en la que D_i y D_e son los diámetros interior y exterior de la coquilla y λ su conductividad térmica.

La transmitancia térmica de la coquilla se obtendrá sumando la resistencia superficial exterior a la resistencia del material.

$$U_{tub} = \frac{1}{R_{tub} + R_{se}} \quad [32]$$

en la que $1/R_{se}$ toma un valor aproximado de 10 $W/m^2 \cdot K$.

6.4. Resistencia térmica total de elementos formados por capas heterogéneas

En aquellas soluciones constructivas, por otro lado muy frecuentes, que ofrezcan discontinuidades superficiales, como son las llagas de una fábrica de ladrillo, las juntas de un aplacado o los marcos de las puertas o las ventanas frente al alma de la puerta o el vidrio de la ventana, hay que proceder a un cálculo consistente en la obtención de la media aritmética entre las llamadas *resistencias térmicas superior* (R'_T) e *inferior* (R''_T) de la pieza.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad [33]$$

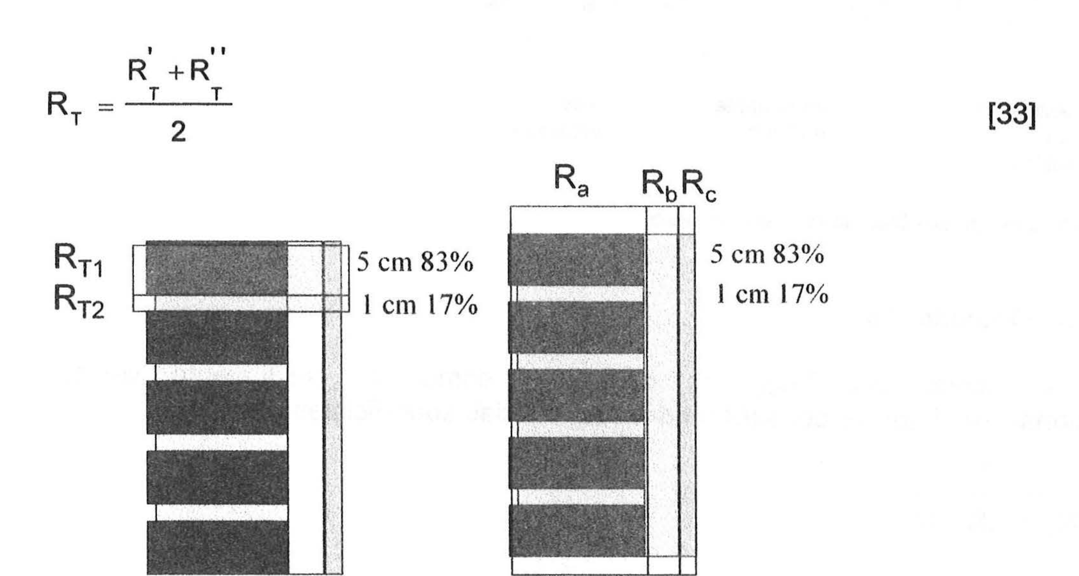


Fig. 4. Cerramiento formado por capas homogéneas y heterogéneas.
Primer dibujo: Cálculo de la resistencia térmica superior
Segundo dibujo: Cálculo de la resistencia térmica inferior

La resistencia térmica superior se obtiene calculando las resistencias de las diferentes capas que surjan en cortes horizontales.

$$R_T = R_{si} + \Sigma R + R_{se}$$

En el ejemplo de la figura 4 se pueden detectar dos capas horizontales configuradas de forma diferente, la zona del ladrillo (ladrillo perforado, aislante, cartón-yeso) y la del mortero.

$$R_{T1} = 0{,}13 + \frac{0{,}12}{0{,}76} + \frac{0{,}06}{0{,}030} + \frac{0{,}02}{0{,}18} + 0{,}04 = 2{,}44$$

$$R_{T2} = 0{,}13 + \frac{0{,}12}{1{,}40} + \frac{0{,}06}{0{,}030} + \frac{0{,}02}{0{,}18} + 0{,}04 = 2{,}37$$

Posteriormente, se realiza un promedio de los valores resultantes incorporando la fracción del total en tanto por uno (f_a y f_b) que corresponde a cada una de las capas.

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{T1}} + \frac{f_b}{R_{T2}} + \ldots \qquad \frac{1}{R'_T} = \frac{0{,}83}{R_{T1}} + \frac{0{,}17}{R_{T2}}$$

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{0{,}83}{2{,}44} + \frac{0{,}17}{2{,}37} = 0{,}41$$

$$R'_T = 2{,}44$$

La *resistencia térmica inferior* se obtiene calculando las resistencias de las diferentes capas que surjan en cortes verticales.

Si se trata de una capa heterogénea (ladrillo perforado y mortero):

$$\frac{1}{R_a} = \frac{f_{a1}}{\frac{d_{a1}}{\lambda_{a1}}} + \frac{f_{a2}}{\frac{d_{a2}}{\lambda_{a2}}} \qquad \frac{1}{R_a} = \frac{0{,}17}{\frac{0{,}01}{1{,}40}} + \frac{0{,}83}{\frac{0{,}05}{0{,}76}} = 36{,}42$$

$$R_a = 0{,}03$$

Si se trata de capas homogéneas (aislante por un lado y cartón-yeso por otro):

$$R_b = \frac{d_b}{\lambda_b} \qquad R_b = \frac{0{,}06}{0{,}030} = 2{,}00$$

$$R_c = \frac{d_c}{\lambda_c} \qquad R_c = \frac{0{,}02}{0{,}18} = 0{,}11$$

$$R_T'' = R_{se} + R_a + R_b + R_c + R_{si} \qquad R_T'' = 0{,}04 + 0{,}03 + 2{,}00 + 0{,}11 + 0{,}13 = 2{,}31$$

La resistencia total se obtiene con la semisuma de estos dos valores extremos, según se indica en la expresión [33].

$$R_T = \frac{2{,}44 + 2{,}31}{2} = 2{,}38$$

U= 0,42 $W/m^2 \cdot K$

De haberse calculado el muro con el procedimiento más convencional de considerar a todas las capas homogéneas y haber olvidado el mortero, el resultado habría sido casi el mismo, 0,41 $W/m^2 \cdot K$. Por tanto, este procedimiento debe emplearse sólo cuando se rompa el aislante térmico en la dirección del flujo de calor.

También deben aplicarse los coeficientes útiles a los forjados, dado que su composición heterogénea, bovedilla, vigueta, hormigón, no permiten aplicar las expresiones habituales. En la tabla 3 aparecen tabuladas las resistencias útiles de diversos forjados; se incluye en su valor la capa de compresión pero no los recubrimientos, yeso, mortero, pavimentos, ni las resistencias superficiales.

Tabla 3
RESISTENCIA TÉRMICA DE FORJADOS
(Tabla del catálogo programa LIDER del CTE)

FAMILIA	MATERIAL	Conductividad térmica λ (W/m·K)	Densidad ρ (kg/m^3)	Calor específico cp (J/kg)	Factor de resistencia al vapor de agua μ (-)	Resistencia al vapor R_v ($MPa \cdot m^2 \cdot s/g$)	Resistencia térmica R ($m^2 \cdot K/W$)
Forjados unidireccionales	FU Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	0,893	1220	1000	10	13,75	0,280
	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	0,938	1110	1000	10	16,50	0,320
	FU Entrevigado cerámico - Canto 350 mm	1,000	1030	1000	10	19,25	0,350
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 250 mm	1,316	1330	1000	80	110,00	0,190
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	1,429	1240	1000	80	132,00	0,210
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 350 mm	1,522	1180	1000	80	154,00	0,230
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 250 mm	1,064	1180	1000	6	8,25	0,235
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 300 mm	1,154	1090	1000	7	11,55	0,260
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 350 mm	1,207	1035	1000	8	15,40	0,290
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 400 mm	1,356	985	1000	9	19,80	0,295
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 250 mm	0,266	800	1000	60	82,50	0,940
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 300 mm	0,256	750	1000	60	99,00	1,172
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 350 mm	0,255	700	1000	60	115,50	1,373
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 250 mm	0,313	790	1000	60	82,50	0,799
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 300 mm	0,341	740	1000	60	99,00	0,880
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 350 mm	0,368	690	1000	60	115,50	0,951

	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 250 mm	0,176	710	1000	60	82,50	1,420
	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 300 mm	0,200	670	1000	60	99,00	1,500
	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 350 mm	0,223	640	1000	60	115,50	1,570
Forjados reticulares	FR FR Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	1,667	1660	1000	10	13,75	0,150
	FR Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	1,667	1580	1000	10	16,50	0,180
	FR Entrevigado cerámico - Canto 350 mm	1,750	1520	1000	10	19,25	0,200
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 250 mm	1,923	1740	1000	10	13,75	0,130
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	2,000	1670	1000	10	16,50	0,150
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 350 mm	1,944	1610	1000	10	19,25	0,180
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 400 mm	2,000	1570	1000	10	27,50	0,250
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 450 mm	2,045	1540	1000	10	24,75	0,220
Forjados reticulares	FR Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 250 mm	1,786	1645	1000	6	8,25	0,140
	FR Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 300 mm	1,875	1570	1000	6	9,90	0,160
	FR Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 350 mm	1,842	1515	1000	6	11,55	0,190
	FR Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 400 mm	1,905	1480	1000	6	13,20	0,210
	FR Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 450 mm	1,957	1455	1000	6	14,85	0,230
	FR Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 300 mm	1,304	1470	1000	60	99,00	0,230
	FR Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 350 mm	1,296	1420	1000	60	115,50	0,270
	FR Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 400 mm	1,333	1390	1000	60	132,00	0,300
	FR Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 450 mm	1,324	1360	1000	60	148,50	0,340
	FR Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 300 mm	1,364	1460	1000	60	99,00	0,220
	FR Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 350 mm	1,400	1420	1000	60	115,50	0,250
	FR Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 400 mm	1,379	1380	1000	60	132,00	0,290
	FR Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 450 mm	1,406	1360	1000	60	148,50	0,320
	FR Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 300 mm	0,357	1330	1000	60	99,00	0,840
	FR Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 350 mm	0,402	1310	1000	60	115,50	0,871
	FR Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 400 mm	0,440	1290	1000	60	132,00	0,909
	FR Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 450 mm	0,479	1280	1000	60	148,50	0,939
	FR Sin Entrevigado - Canto 250 mm	4,167	2350	1000	80	110,00	0,060
	FR Sin Entrevigado - Canto 300 mm	4,286	2350	1000	80	132,00	0,070
	FR Sin Entrevigado - Canto 350 mm	4,375	2350	1000	80	154,00	0,080
Losas alveolares	Sin capa de compresión - Canto 400 mm	1,818	1180	1000	80	176,00	0,220
	Sin capa de compresión - Canto 500 mm	2,000	1120	1000	80	220,00	0,250
	Con capa de compresión - Canto 200 mm	1,429	1810	1000	80	88,00	0,140
	Sin capa de compresión - Canto 200 mm	1,429	1410	1000	80	88,00	0,140
	Sin capa de compresión - Canto 250 mm	1,563	1380	1000	80	110,00	0,160
	Sin capa de compresión - Canto 300 mm	1,579	1290	1000	80	132,00	0,190
	Sin capa de compresión - Canto 350 mm	1,667	1180	1000	80	154,00	0,210
Losas alveolares	Con capa de compresión - Canto 250 mm	1,563	1580	1000	80	110,00	0,160
	Con capa de compresión - Canto 300 mm	1,579	1530	1000	80	132,00	0,190
	Con capa de compresión - Canto 350 mm	1,667	1440	1000	80	154,00	0,210
	Con capa de compresión - Canto 400 mm	1,818	1320	1000	80	176,00	0,220
	Con capa de compresión - Canto 500 mm	2,000	1300	1000	80	220,00	0,250
Forjados unidireccionales	FU Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	0,893	1220	1000	10	13,75	0,280

	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	0,938	1110	1000	10	16,50	0,320
	FU Entrevigado cerámico - Canto 350 mm	1,000	1030	1000	10	19,25	0,350
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 250 mm	1,316	1330	1000	80	110,00	0,190
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	1,429	1240	1000	80	132,00	0,210
	FU Entrevigado de hormigón - Canto 350 mm	1,522	1180	1000	80	154,00	0,230
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 250 mm	1,064	1180	1000	6	8,25	0,235
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 300 mm	1,154	1090	1000	7	11,55	0,260
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 350 mm	1,207	1035	1000	8	15,40	0,290
	FU Entrevigado de hormigón aligerado - Canto 400 mm	1,356	985	1000	9	19,80	0,295
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 250 mm	0,266	800	1000	60	82,50	0,940
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 300 mm	0,256	750	1000	60	99,00	1,172
	FU Entrevigado de EPS mecanizado enrasado - Canto 350 mm	0,255	700	1000	60	115,50	1,373
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 250 mm	0,313	790	1000	60	82,50	0,799
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 300 mm	0,341	740	1000	60	99,00	0,880
	FU Entrevigado de EPS moldeado enrasado - Canto 350 mm	0,368	690	1000	60	115,50	0,951
	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 250 mm	0,176	710	1000	60	82,50	1,420
	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 300 mm	0,200	670	1000	60	99,00	1,500
	FU Entrevigado de EPS moldeado descolgado - Canto 350 mm	0,223	640	1000	60	115,50	1,570
Forjados reticulares	FR FR Entrevigado cerámico - Canto 250 mm	1,667	1660	1000	10	13,75	0,150
	FR Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	1,667	1580	1000	10	16,50	0,180
	FR Entrevigado cerámico - Canto 350 mm	1,750	1520	1000	10	19,25	0,200
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 250 mm	1,923	1740	1000	10	13,75	0,130
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 300 mm	2,000	1670	1000	10	16,50	0,150
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 350 mm	1,944	1610	1000	10	19,25	0,180
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 400 mm	2,000	1570	1000	10	27,50	0,250
	FR Entrevigado de hormigón - Canto 450 mm	2,045	1540	1000	10	24,75	0,220

Otro elemento constructivo que debe tener el tratamiento de capa heterogénea es la cobertura de los tejados inclinados: tejas, pizarras, etc. Estos elementos al tener un tamaño reducido y enlazarse los unos con los otros sin continuidad superficial no aportan ninguna resistencia térmica al conjunto de la cubierta. Sin embargo, el aire que queda entre las piezas o bajo ellas no puede considerarse exterior, por lo que este conjunto tendría el carácter de una cámara de aire muy ventilada y el efecto sólo se aplicaría a la resistencia superficial de la cara exterior, que pasaría de considerarse como exterior a considerarse como interior. Por ello, aplicándolo a un cálculo convencional, la cuantificación útil de las coberturas sería la siguiente:

Cobertura de cubiertas inclinadas (tejas, pizarras, etc.) :

$R_u = 0,05\ m^2 \cdot K/W$

La transmitancia térmica del hueco acristalado se ha hallado con la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} = FV \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \qquad [34]$$

en la que:

U_H : Transmitancia del hueco acristalado ($W/m^2 \cdot K$)
$U_{H,v}$: Transmitancia del vidrio ($W/m^2 \cdot K$)
$U_{H,m}$: Transmitancia del marco ($W/m^2 \cdot K$)
FM: Fracción de marco (tanto por uno)
FV: Fracción de vidrio (tanto por uno)

La transmitancia del marco se deduce de la expresión anterior:

$$U_{H,m} = (U_H - FV \cdot U_{H,v})/FM \quad [35]$$

Tabla 4
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE VIDRIOS
(Tabla del catálogo programa LIDER del CTE)

TIPO DE VIDRIO	Espesores (mm)	Transmitancia térmica $U_{H,v}$ ($W/m^2 \cdot K$) según posición	
		horizontal	vertical
Monolíticos	"33,1a"	6,80	5,60
	«4»	6,90	5,70
	"44,1a"	6,70	5,60
	"55,1a"	6,60	5,50
	"6"	6,80	5,70
	"66,1a"	6,50	5,40
Dobles	"4-6-33,1"	3,60	3,20
	"4-6-4"	3,60	3,30
	"4-6-44, 1a"	3,60	3,20
	"4-6-55, 1a"	3,50	3,20
	"4-6-6"	3,60	3,30
	"4-6-66, 1a"	3,50	3,20
	"4-9-33,1"	3,40	3,00
	"4-9-4"	3,40	3,00
	"4-9-44, 1a"	3,40	3,00
	"4-9-55,1a"	3,40	2,90
	"4-9-6"	3,40	3,00
	"4-9-66, 1a"	3,30	2,90
	"4-12-33,1"	3,40	2,80
	"4-12-4"	3,40	2,80
	"4- 12-44, 1a"	3,30	2,80
	"4-12-55,1a"	3,30	2,80
	"4-12-6"	3,40	2,80
	"4-12-66,1a"	3,30	2,80
	"4-15-33,1"	3,30	2,70
	"4-15-4"	3,40	2,70
	"4- 15-44, 1a"	3,30	2,70
	"4-15-55,1a"	3,30	2,70
	"4-15-6"	3,40	2,70

	"4-15-66,1a"	3,30	2,70
	"4-20-33,1"	3,30	2,70
	"4-20-4"	3,30	2,70
	"4-20-44, 1a"	3,30	2,70
	"4-20-55, 1a"	3,30	2,70
	"4-20-6"	3,30	2,70
	"4-20-66, 1a"	3,20	2,70
Dobles bajo emisivos 0,1-0,2	"4-6-33,1"	2,90	2,70
	"4-6-4"	3,00	2,70
	"4-6-44, 1a"	2,90	2,70
	"4-6-55, 1a"	2,90	2,70
	"4-6-6"	2,90	2,70
	"4-6-66, 1a"	2,90	2,60
	"4-9-33,1"	2,60	2,30
	«4.9.4»	2,70	2,30
	"4.9.44,13"	2,60	2,30
	"4-9-55,1a"	2,60	2,20
	"4-9-6"	2,70	2,30
	"4-9-66, 1a"	2,60	2,20
	"4-12-33,1"	2,60	2,00
	"4-12-4"	2,60	2,00
	"4-1 2-44, 1a"	2,60	2,00
	"4-12-55, 1a"	2,60	2,00
	"4-12-6"	2,60	2,00
	"4-12-66,1a"	2,50	2,00
	"4-15-33,1"	2,50	1,80
	"4-15-4"	2,60	1,80
	"4-1 5.44, 1a"	2,50	1,80
	"4-15-55,1a"	2,50	1,80
	"4-15-6"	2,60	1,80
	"4-15-66,1a"	2,50	1,80
	"4-20-33,1"	2,50	1,80
	"4-20-4"	2,50	1,80
	"4-20-44, 1a"	2,50	1,80
	"4-20-55, 1a"	2,50	1,80
	"4-20-6"	2,50	1,80
	"4-20-66, 1a"	2,50	1,80
Dobles bajo emisivos 0,03-0,1	"4-6-33,1"	2,80	2,50
	"4-6-4"	2,80	2,60
	"4-6-44, 1a"	2,70	2,50
	"4-6-55, 1a"	2,70	2,50
	"4-6-6"	2,80	2,60
	"4-6-66, 1a"	2,70	2,50
	"4-9-33,1"	2,40	2,10
	"4.9.4»	2,50	2,10
	"4-9-44, 1a"	2,40	2,10
	"4-9-55, 1a"	2,40	2,10
	"4-9-6"	2,50	2,10
	"4-9-66, 1a"	2,40	2,10
	"4-12-33,1"	2,40	1,80
	"4-12-4"	2,40	1,80

	"4-1 2-44, 1a"	2,40	1,80
	"4-12-55, 1a"	2,40	1,80
	"4-12-6"	2,40	1,80
	"4-12-66,1a"	2,40	1,80
	"4-15-33,1"	2,30	1,60
	"4-15-4"	2,40	1,60
	"4- 15-44, 1a"	2,30	1,60
	"4-15-55, 1a"	2,30	1,60
	"4-15-6"	2,40	1,60
	"4-15-66,1a"	2,30	1,60
	"4-20-33,1"	2,30	1,60
	"4-20-4"	2,30	1,60
	"4-20-44, 1a"	2,30	1,60
	"4-20-55, 1a"	2,30	1,60
	"4-20-6"	2,30	1,60
	"4-20-66, 1a"	2,30	1,60
Dobles bajo emisivos <0,03	"4-6-33,1"	2,60	2,40
	"4-6-4"	2,60	2,50
	"4-6-44, 1a"	2,60	2,40
	"4-6-55, 1a"	2,60	2,40
	"4-6-6"	2,60	2,40
	"4-6-66, 1a"	2,60	2,40
	"4-9-33,1"	2,30	1,90
	"4.9.4»	2,30	1,90
	"4-9-44, 1a"	2,30	1,90
	"4-9-55, 1a"	2,30	1,90
	"4-9-6"	2,30	1,90
	"4-9-66, 1a"	2,30	1,90
	"4-12-33,1"	2,20	1,60
	"4-12-4"	2,20	1,60
	"4-1 2-44, 1a"	2,20	1,60
	"4-12-55, 1a"	2,20	1,60
	"4-12-6"	2,20	1,60
	"4-12-66,1a"	2,20	1,60
	"4-15-33,1"	2,20	1,40
	"4-15-4"	2,20	1,40
	"4- 15-44, 1a"	2,20	1,40
	"4-15-55,1a"	2,20	1,40
	"4-15-6"	2,20	1,40
	"4-15-66,1a"	2,10	1,40
	"4-20-33,1"	2,10	1,40
	"4-20-4"	2,10	1,40
	"4-20-44, 1a"	2,10	1,40
	"4-20-55,1a"	2,10	1,40
	"4-20-6"	2,10	1,40
	"4-20-66, 1a"	2,10	1,40

Tabla 5
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE MARCOS
(Tabla del catálogo programa LIDER del CTE)

MATERIAL	TIPO DE MARCO	Anchura (m)	Transmitancia térmica $U_{H,m}$ (W/m²·K) según posición vertical	horizontal
PVC	dos cámaras	0,10	2,20	2,40
	tres cámaras	0,10	1,80	1,90
Madera	madera de densidad media alta	0,10	2,20	2,40
	madera de densidad media baja	0,10	2,00	2,10
Metálicos	normal sin rotura de puente térmico	0,10	5,70	7,20
	con rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm	0,10	4,00	4,50
	con rotura de puente térmico mayor de 12 mm	0,10	3,20	3,50

Tabla 6
FRACCIONES DE MARCOS Y DE VIDRIOS OCUPADAS EN LA VENTANA

Material	Área del hueco (m²)	FM	FV
PVC	0,25	0,77	0,23
	0,50	0,60	0,40
	1,00	0,45	0,55
	1,50	0,38	0,62
	2,00	0,33	0,67
	2,50	0,30	0,70
	3,00	0,28	0,72
	3,50	0,26	0,74
	4,00	0,24	0,76
	4,50	0,23	0,77
	5,00	0,22	0,78
	6,00	0,20	0,80
	7,00	0,19	0,81
	8,00	0,18	0,82
	9,00	0,17	0,83
	10,00	0,16	0,84
	12,00	0,14	0,86
Madera	0,25	0,69	0,31
	0,50	0,53	0,47
	1,00	0,39	0,61
	1,50	0,33	0,67
	2,00	0,29	0,71
	2,50	0,26	0,74
	3,00	0,24	0,76
	3,50	0,22	0,78
	4,00	0,21	0,79
	4,50	0,20	0,80
	5,00	0,19	0,81
	6,00	0,17	0,83

	7,00	0,16	0,84
	8,00	0,15	0,85
	9,00	0,14	0,86
	10,00	0,13	0,87
	12,00	0,12	0,88
Metálicos	0,25	0,64	0,36
	0,50	0,49	0,51
	1,00	0,36	0,64
	1,50	0,30	0,70
	2,00	0,26	0,74
	2,50	0,24	0,76
	3,00	0,22	0,78
	3,50	0,20	0,80
	4,00	0,19	0,81
	4,50	0,18	0,82
	5,00	0,17	0,83
	6,00	0,16	0,84
	7,00	0,15	0,85
	8,00	0,14	0,86
	9,00	0,13	0,87
	10,00	0,12	0,88
	12,00	0,11	0,89

6.5. La representación gráfica

El comportamiento térmico de un cerramiento multicapa se puede representar gráficamente de una manera similar a la vista en el apartado 3 al hablar de los coeficientes de conducción en régimen permanente. En este caso hay que recurrir a una definición gráfica que permita relacionar las conductividades de los distintos materiales entre sí. Puede hacerse de dos formas: manteniendo los espesores reales del cerramiento y representando las conductividades con distintas pendientes (pendiente creciente para la resistividad térmica creciente), o fijando una inclinación constante y dando a las capas un espesor variable diferente al real, equivalente a la resistencia térmica de la capa (Fig. 5).

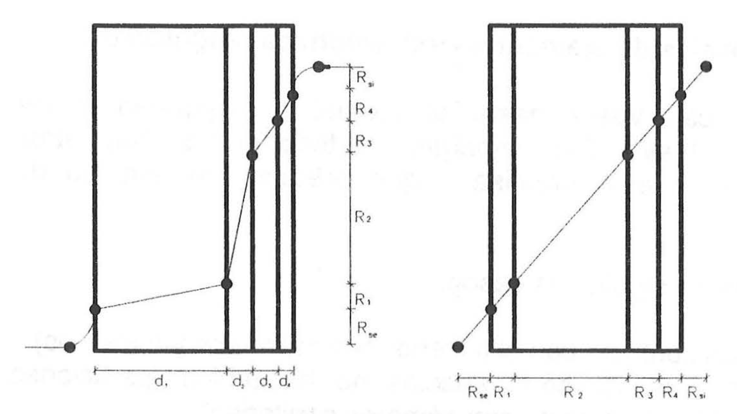


Fig. 5. Representación gráfica del gradiente térmico a escala real y en escala de resistencias térmicas

La forma más habitual es la primera de ellas, en la que las pendientes varían según la resistividad térmica. Para proceder al dibujo se puede asignar una pendiente arbitraria a cada unidad de resistividad térmica. Sin embargo, este método es engorroso y pesado. La forma más sencilla es una representación basada en las resistencias térmicas o en las caídas de temperatura. Para ello se superponen ordenadamente, en una escala de resistencia los valores correspondientes a los distintos materiales, incluidas las capas límite, y se señalan y unen a continuación los puntos de corte con las delimitaciones de cada material. A continuación se crea una escala de temperaturas, que permitirá calcular gráficamente su valor en cualquier punto. Esta misma representación se puede hacer partiendo de la escala de temperaturas, para lo que es necesario calcular previamente la variación de temperatura que corresponde a cada resistencia térmica. Para ello se utiliza una expresión que se obtiene de relacionar la resistencia térmica total (R_T) con el salto térmico entre los ambientes interior y exterior (θ_i - θ_e) y la caída parcial (Δt_n) con la resistencia parcial (R_n) correspondiente a cada material. Es la expresión siguiente:

$$\Delta t_n = R_n \cdot \frac{(\theta_i - \theta_e)}{R_T} \qquad [36]$$

Los puntos que corresponden a la separación entre los materiales se unirán mediante las líneas rectas que representan al régimen permanente. Sin embargo, las capas límite se representarán con cuartos de círculo, que se identifica mejor con el comportamiento convectivo de esta capa (Fig. 6).

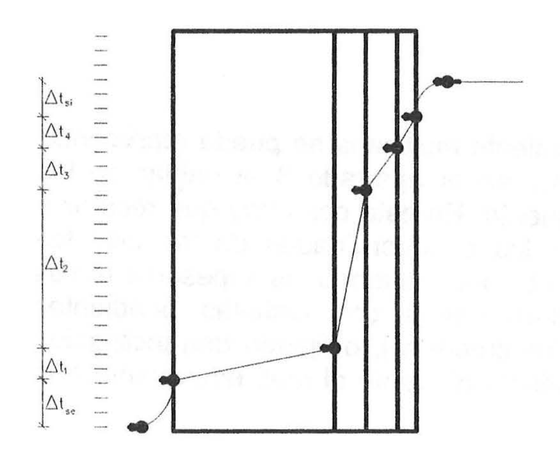


Fig. 6. Representación gráfica con saltos térmicos

6.6. La transmitancia térmica de elementos constructivos singulares

Las transmitancias térmicas vistas hasta el momento responden a los *cerramientos en contacto con el aire*. Sin embargo, en todo edificio hay otros cerramientos que no responden a esta premisa y que precisan del empleo de expresiones o tablas singulares.

Las diferencias surgen en los siguientes casos:

- Cerramientos en contacto con el terreno (suelos, muros y cubiertas)
- Particiones en contacto con espacios no habitables (particiones interiores y suelos en contacto con cámaras sanitarias)

Todos estos casos singulares se calculan con procedimientos más o menos empíricos definidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE), apartado HE 1, Ahorro de energía, limitación deldemanda energética.

6.6.1. Cerramientos en contacto con el terreno: soleras

Para calcular las soleras se debe calcular la *longitud característica de la misma* (B').

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} \qquad [37]$$

en la que A es el área (m^2) y P el perímetro de la solera (m).

El primer caso que se contempla (Caso 1) corresponde a soleras apoyadas en el terreno o hundidas un máximo de 0,50 m.

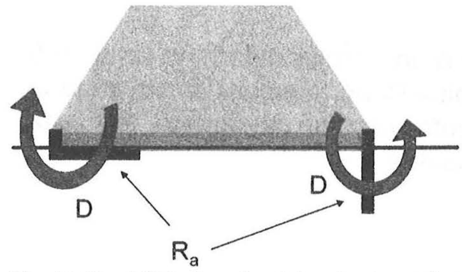


Fig. 7. Posibilidades de aislamiento perimetral en soleras

El valor de la transmitancia térmica U_s se obtiene de la tabla 7 con la *longitud característica* B', la anchura de la banda perimetral de aislamiento D (m) y la resistencia térmica de la misma, R_a ($m^2 \cdot K/W$).

Tabla 7
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE SOLERAS EN SUPERFICIE
U_s ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla E.3 del CTE)

	R_a	D = 0,50 m R_a (m^2 K/W)					D = 1,00 m Ra (m2 K/W)					D ≥ 1,50 m Ra (m2 K/W)				
B`	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**2,00**	**2,50**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**2,00**	**2,50**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**2,00**	**2,50**
1	2,35	1,57	1,3	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,8	0,66	0,57	–	–	–	–	–
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,5	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,4	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,3	0,3	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Si la solera no estuviera aislada se tomaría el dato correspondiente a la columna de R_a igual a cero. Por el contrario, si el aislamiento cubriera la totalidad de la solera se tomarán los datos de la columna de D ≥ 1,50 m.

En este tipo de cerramientos debe calcularse singularmente la transmitancia térmica del primer metro del perímetro de la solera. Se obtiene de la misma tabla 7, de los datos de la primera fila, para B' igual a uno.

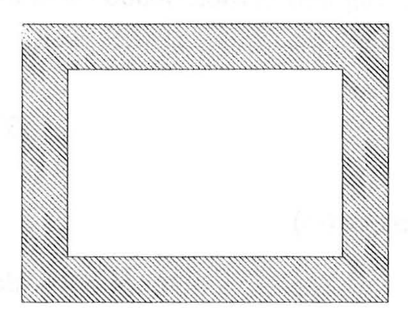


Fig. 8. Primer metro perimetral de solera

El Caso 2 corresponde a una solera enterrada a una profundidad mayor de 0,5 m. En este caso se deberá calcular la resistencia térmica R_f de la solera, incluyendo la base sobre la que se asiente y las capas que conformen el pavimento; en esta resistencia no se deben incluir las resistencias superficiales.

$$R_f = \Sigma R$$

El valor de la transmitancia térmica U_s se obtiene de la tabla 8 con la *longitud característica* B', la profundidad de enterramiento z (m) y la resistencia térmica de la solera, R_f ($m^2 \cdot K/W$).

Tabla 8
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE SOLERAS ENTERRADAS
U_s ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla E.4 del CTE)

	0,50 m < z ≤ 1,00 m R_f (m^2 K/W)				1,00 m < z ≤ 2,00 m R_f (m^2 K/W)				2,00 m < z ≤ 3,00 m R_f (m^2 K/W)				z > 3,00 m R_f (m^2 K/W)			
B`	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**	**0,00**	**0,50**	**1,00**	**1,50**
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,20	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,3	0,20	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
1	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

6.6.2. Cerramientos en contacto con el terreno: muros enterrados

La transmitancia térmica U_T de muros enterrados se obtiene de la tabla 9 con la profundidad de la parte enterrada z (m) y la resistencia térmica del muro R_m ($m^2 \cdot K/W$), descartadas las resistencias superficiales.

$$R_m = \Sigma R$$

Tabla 9
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE MUROS ENTERRADOS
U_T ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla E.5 del CTE)

R_m	Profundidad de la parte enterrada z (m)					
($m^2 \cdot K/W$)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	>6,0
0,0	3,05	2,2	1,48	1,15	0,95	0,71
0,5	1,17	0,99	0,77	0,64	0,55	0,44
1,0	0,74	0,65	0,54	0,47	0,42	0,34
1,5	0,54	0,49	0,42	0,37	0,34	0,28
2,0	0,42	0,39	0,35	0,31	0,28	0,24

En este tipo de cerramientos también debe calcularse singularmente la transmitancia térmica del metro superior del muro enterrado. Se obtiene de la misma tabla 9, de la columna de z igual a uno (ver la figura 9).

Este procedimiento es aplicable a muros semienterrados, completamente enterrados o combinación de varios, situados en varias plantas consecutivas, siempre que se mantenga la configuración constructiva de todos ellos igual.

En el caso de que el muro varíe con la profundidad, por ejemplo, un muro semienterrado con la configuración del tramo exterior y a continuación el muro enterrado del sótano, como una pantalla de hormigón, la transmitancia térmica se debe calcular con la siguiente expresión:

$$U_T = \frac{U_1 \cdot z_1 + U_2 \cdot z_2 - U_{12} \cdot z_1}{z_2} \qquad [38]$$

en la que:

- z_1 y z_2 La profundidad del primer y del segundo tramo, respectivamente (m)
- U_1 La transmitancia térmica del tramo superior enterrado a una profundidad z_1, medido desde el terreno a la cota inferior del muro
- U_2 La transmitancia térmica del tramo inferior enterrado a una profundidad z_2, medido desde el terreno a la cota inferior del muro
- U_{12} La transmitancia térmica de un tramo teórico de muro enterrado a una profundidad z_1 y con la R_m del tramo inferior (R_2)

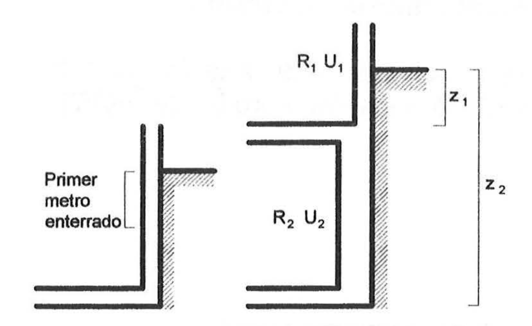


Fig. 8. Muros enterrados

6.6.3. Cerramientos en contacto con el terreno: cubiertas enterradas

El cálculo de las transmitancias térmicas de cubiertas enterradas se realiza con el procedimiento descrito para los cerramientos en contacto con el aire (expresión [28]), a la que se añade una nueva capa, la de tierra, a la que se asignará una conductividad térmica de 2 W/m·K.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{e}{2} + \Sigma \frac{e}{\lambda} + R_{se}} \qquad [39]$$

6.6.4. Particiones interiores en contacto con espacios no habitables: cámaras sanitarias

Este apartado corresponde a forjados situados sobre una cámara de aire ventilada permanentemente, en los que la cara inferior del forjado no esté por encima del terreno más de un metro, ni la cota inferior de la cámara esté por debajo del terreno más de 0,5 m.

El valor de la transmitancia térmica U_s del forjado sanitario se obtiene de la tabla 10 con la *longitud característica* B' del suelo que conforma horizontalmente la cámara y la resistencia térmica del forjado R_f ($m^2 \cdot K/W$), incluidas todas las capas constructivas, como el pavimento, pero excluidas las dos resistencias superficiales.

$$R_f = \Sigma R$$

Tabla 10
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE CÁMARAS SANITARIAS
U_T ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla E.9 del CTE)

	R_f (m^2 K/W)					
B'	**0,0**	**0,5**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32
10	1,63	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,30
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,29
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28
26	0,92	0,30	0,48	0,39	0,32	0,28
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27
≥ 36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27

6.6.5. Particiones interiores en contacto con espacios no habitables (excepto cámaras sanitarias)

Corresponde este caso a las separaciones con garajes, trasteros, despensas, buhardillas, etc. El cálculo se realiza multiplicando la trasmitancia térmica del elemento separador (obtenida con dos resistencias superficiales interiores), U_p, por un coeficiente corrector de la diferencia de temperaturas entre ambientes, b.

$$U_p = \frac{1}{R_{si} + \Sigma \frac{e}{\lambda} + R_{si}} \qquad [40]$$

Fig. 10. Opciones en locales no habitables

$$U = U_p \cdot b \qquad [41]$$

El coeficiente b se obtiene de la tabla 11 en función del cociente entre las áreas del cerramiento exterior del espacio no habitable (A_{ue}) y de la partición separadora (A_{iu}), y de la posición del aislante térmico, que puede ser:

1. En la partición (iu)
2. Sin aislamiento
3. En el cerramiento exterior (ue)

También es necesario considerar si el espacio no habitable está ligeramente ventilado (trasteros o buhardillas), Caso 1, o muy ventilado (garajes), Caso 2.

Tabla 11
COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE TEMPERATURAS b
(Tabla E.7 del CTE)

	No aislado ue-aislado iu		No aislado ue- no aislado iu		Aislado ue- no aislado iu	
Aiu / Aue	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
< 0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,70	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,60	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
> 3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

7. PUENTES TÉRMICOS

A efectos normativos, se deberán calcular como elementos independientes, cualquier elemento, incluidos aquellos puentes térmicos cuya superficie supere 0,5 m^2. Los elementos más frecuentes serán:

- Pilares empotrados en fachada
- Hornacinas de radiadores
- Cajas de persianas
- Contornos de huecos

El procedimiento de cálculo será el mismo que el empleado para cualquiera de los cerramientos descritos anteriormente. Las cajas de persianas se calcularán como cerramientos con cámaras de aire ventiladas.

8. LIMITACIONES NORMATIVAS A LA TRANSMITANCIA TÉRMICA

El *Código Técnico de la Edificación* limita la demanda energética de los edificios fijando la *transmitancia térmica media* de los cerramientos que forman su envolvente térmica y el *factor solar modificado* de los huecos, un coeficiente resultante del factor solar del vidrio y del factor de protección solar del hueco. Es aplicable a edificios de nueva construcción y a obras de reforma o rehabilitación de más de 1000 m^2, donde se renueve al menos el 25% de sus cerramientos.

Pero dado que limita los valores medios de los cerramientos, lo que puede implicar que haya áreas muy bien aisladas junto a otras muy mal aisladas, para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de los diferentes espacios, limita igualmente los valores específicos de:

1. Muros
2. Particiones interiores en contacto con espacios no habitables
3. Primer metro de suelos apoyados en el terreno
4. Primer metro de muros enterrados
5. Suelos
6. Cubiertas
7. Marcos de los huecos acristalados
8. Vidrios de los huecos acristalados
9. Medianerías

Tabla 12
TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA
U ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla 2.1 del CTE)

Cerramientos y particiones interiores	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
-Muros de fachada -Particiones a locales no habitables -Primer metro de soleras (z<0,5 m) -Primer metro de muros enterrados	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
-Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
-Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
-Marcos y vidrios (por separado)	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
-Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Esta doble comprobación energética es la denominada por el CTE como la *opción simplificada*, y es aplicable a aquellos edificios en los que el acristalamiento no supere el 60% del total en cualquier fachada (excepto en aquellos que superando ese porcentaje no represente más del 10% del total de las fachadas, o si son acristalamientos vinculados a sistemas bioclimáticos). A los lucernarios se les aplica un porcentaje máximo del 5% de la superficie de la cubierta[5].

Los valores medios se obtienen empleando las expresiones incluidas en la tabla 13. En la figura 11 se describen las diferentes opciones de cerramientos, dentro de la envolvente térmica del edificio.

[5] En el resto de los edificios se debe aplicar el programa LIDER, con el que se comprobará si el edificio proyectado cumple con otro idéntico al proyectado pero que cumple estrictamente con lo señalado en la opción simplificada.

Tabla 13
TRANSMITANCIAS TÉRMICAS MEDIAS
U ($W/m^2 \cdot K$)
(Tabla 3.1 del CTE)

Cerramientos y particiones interiores	Componentes		Parámetros característicos	Parámetros característicos medios	Comparación con los valores límites
CUBIERTAS	C_1	En contacto con el aire	U_{C1}	$U_{Cm} = \dfrac{\sum A_C \cdot U_C + \sum A_{PC} \cdot U_{PC} + \sum A_L \cdot U_L}{\sum A_C + \sum A_{PC} + \sum A_L}$	$U_{Cm} \leq U_{Clim}$
	C_2	En contacto con un espacio no habitable	U_{C2}		
	P_C	Puente térmico (Contorno de lucemano>0,5 m²)	U_{PC}		
	L	Lucemarios	U_L		
			F_L	$F_{Lm} = \dfrac{\sum A_F \cdot F_L}{\sum A_F}$	$F_{Lm} \leq F_{Llim}$
FACHADAS	M_1	Muro en contacto con el aire	U_{M1}	$U_{Mm} = \dfrac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PF} \cdot U_{PF}}{\sum A_M + \sum A_{PF}}$	$U_{Mm} \leq U_{Mlim}$
	M_2	Muro en contacto con espacios no habitables	U_{M2}		
	P_{F1}	Puente térmico (contorno de huecos > 0,5 m²)	U_{PF1}		
	P_{F2}	Puente térmico (pilares en fachada > 0,5 m²)	U_{PF2}		
	P_{F3}	Puente térmico (caja de persianas > 0,5 m²)	U_{PF3}		
	H	Huecos	U_H	$U_{Hm} = \dfrac{\sum A_H \cdot U_H}{\sum A_H}$	$U_{Hm} \leq U_{Hlim}$
			F_H	$F_{Hm} = \dfrac{\sum A_H \cdot F_H}{\sum A_H}$	$F_{Hm} \leq F_{Hlim}$
SUELOS	S_1	Apoyados sobre el terreno	U_{S1}	$U_{Sm} = \dfrac{\sum A_S \cdot U_S}{\sum A_S}$	$U_{Sm} \leq U_{Slim}$
	S_2	En contacto con espacios no habitables	U_{S2}		
	S_3	En contacto con el aire exterior	U_{S3}		
CERRAMIENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	T_1	Muros en contacto con el terreno	U_{T1}	$U_{Tm} = \dfrac{\sum A_T \cdot U_T}{\sum A_T}$	$U_{Tm} \leq U_{Mlim}$
	T_2	Cubiertas enterradas	U_{T2}		
	T_3	Suelos a una profundidad mayor de 0,5 m	U_{T3}		

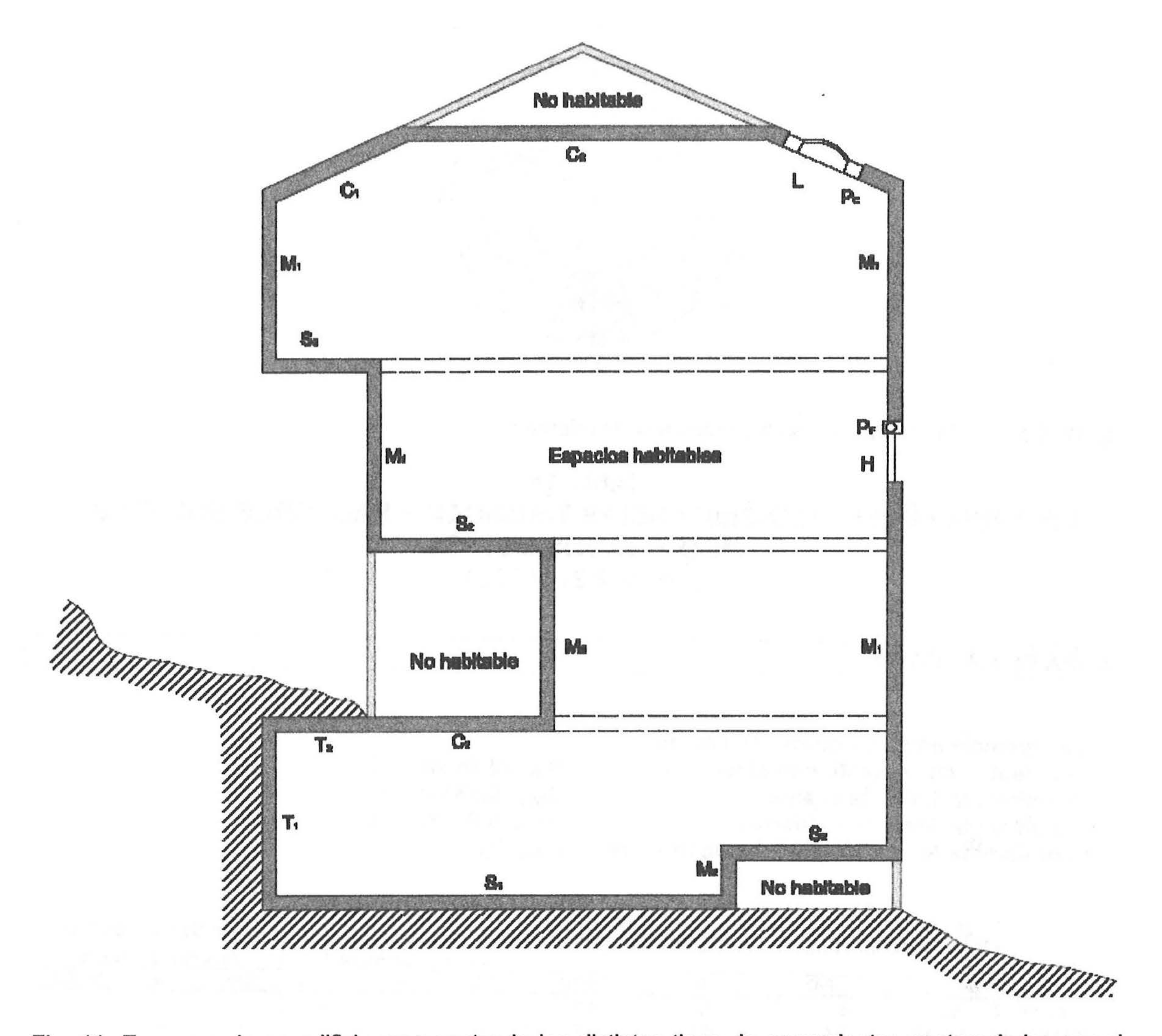


Fig. 11. Esquema de un edificio representando los distintos tipos de cerramientos contemplados por el CTE en la envolvente térmica

A continuación se muestran las tablas, ordenadas por zonas climáticas, donde se ven los *valores límite* correspondientes a las diferentes transmitancias térmicas y al factor solar modificado de los huecos.

Para determinar a qué orientación debe asignarse una fachada, en la figura 12 se muestran los márgenes de acimut que corresponden a cada una de ellas; por ejemplo, una fachada desviada 30 grados hacia el norte desde el este debe asignarse a este, y una fachada perfectamente a NE o NO, se debe asignar a norte.

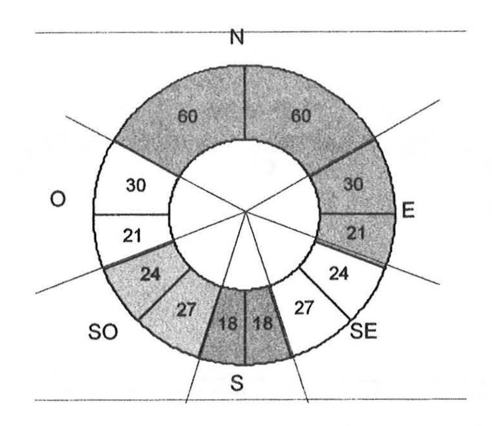


Fig. 12. Rangos de acimut correspondientes a cada orientación

Tabla 14
VALORES LÍMITE TRANSMITANCIAS TÉRMICAS Y FACTORES SOLARES MODIFICADOS MEDIOS

(Tablas 2.2 del CTE)

ZONA CLIMÁTICA A3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,94 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,53 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,50 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,29**

	Transmitancia límite de huecos[(1)] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,7	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	4,7 (5,6)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	4,1 (4,6)	5,5 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	3,8 (4,1)	5,2 (5,5)	5,7	5,7	-	-	-	0,48	-	0,51
de 41 a 50	3,5 (3,8)	5,0 (5,2)	5,7	5,7	0,57	-	0,60	0,41	0,57	0,44
de 51 a 60	3,4 (3,6)	4,8 (4,9)	5,7	5,7	0,50	-	0,54	0,36	0,51	0,39

ZONA CLIMÁTICA A4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,94 W/m^{2}K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,53 W/m^{2}K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,50 W/m^{2}K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,29**

	Transmitancia límite de huecos[(1)] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,7	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	4,7 (5,6)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	4,1 (4,6)	5,5 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,56	-	0,57
de 31 a 40	3,8 (4,1)	5,2 (5,5)	5,7	5,7	0,57	-	0,58	0,43	0,59	0,44
de 41 a 50	3,5 (3,8)	5,0 (5,2)	5,7	5,7	0,47	-	0,48	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	3,4 (3,6)	4,8 (4,9)	5,7	5,7	0,40	0,55	0,42	0,30	0,42	0,32

[(1)] En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,67 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas A3 y A4.

ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno — **U_{Mlim}: 0,82 W/m^2K**
Transmitancia límite de suelos — **U_{Slim}: 0,52 W/m^2K**
Transmitancia límite de cubiertas — **U_{Clim}: 0,45 W/m^2K**
Factor solar modificado límite de lucernarios — **F_{Llim}: 0,30**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^2K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

ZONA CLIMÁTICA B4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno — **U_{Mlim}: 0,82 W/m^2K**
Transmitancia límite de suelos — **U_{Slim}: 0,52 W/m^2K**
Transmitancia límite de cubiertas — **U_{Clim}: 0,45 W/m^2K**
Factor solar modificado límite de lucernarios — **F_{Llim}: 0,28**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^2K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,55	-	0,57
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	0,55	-	0,58	0,42	0,59	0,44
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,45	-	0,48	0,34	0,49	0,36
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,39	0,55	0,41	0,29	0,42	0,31

[1] En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,58 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas B3 y B4.

ZONA CLIMÁTICA C1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno **U_{Mlim}: 0,73 W/m²K**
Transmitancia límite de suelos **U_{Slim}: 0,50 W/m²K**
Transmitancia límite de cubiertas **U_{Clim}: 0,41 W/m²K**
Factor solar modificado límite de lucernarios **F_{Llim}: 0,37**

	Transmitancia límite de huecos[(1)] U_{Hlim} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	-	0,56	-	0,60
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	-	-	-	0,47	-	0,52
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	-	-	-	0,42	-	0,46

ZONA CLIMÁTICA C2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno **U_{Mlim}: 0,73 W/m²K**
Transmitancia límite de suelos **U_{Slim}: 0,50 W/m²K**
Transmitancia límite de cubiertas **U_{Clim}: 0,41 W/m²K**
Factor solar modificado límite de lucernarios **F_{Llim}: 0,32**

	Transmitancia límite de huecos[(1)] U_{Hlim} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	-	0,47	-	0,51
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38

(1) En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,52 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas C1, C2, C3 y C4.

ZONA CLIMÁTICA C3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,73 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,50 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,41 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,28**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				**Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}**					
					Baja carga interna			**Alta carga interna**		
% de huecos	**N**	**E/O**	**S**	**SE/SO**	**E/O**	**S**	**SE/SO**	**E/O**	**S**	**SE/SO**
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	0,55	-	0,59
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	-	-	-	0,43	-	0,46
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,51	-	0,54	0,35	0,52	0,39
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,43	-	0,47	0,31	0,46	0,34

ZONA CLIMÁTICA C4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,73 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,50 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,41 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,27**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				**Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}**					
					Baja carga interna			**Alta carga interna**		
% de huecos	**N**	**E/O**	**S**	**SE/SO**	**E/O**	**S**	**SE/SO**	**E/O**	**S**	**SE/SO**
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	0,54	-	0,56
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	0,54	-	0,56	0,41	0,57	0,43
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,47	-	0,46	0,34	0,47	0,35
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,38	0,53	0,39	0,29	0,40	0,30

[1] En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,52 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas C1, C2, C3 y C4.

ZONA CLIMÁTICA D1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno — **U_{Mlim}: 0,66 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos — **U_{Slim}: 0,49 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas — **U_{Clim}: 0,38 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios — **F_{Llim}: 0,36**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,54	-	0,58
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	-	-	-	0,45	-	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,57	0,44

ZONA CLIMÁTICA D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno — **U_{Mlim}: 0,66 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos — **U_{Slim}: 0,49 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas — **U_{Clim}: 0,38 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios — **F_{Llim}: 0,31**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno — **U_{Mlim}: 0,66 W/m^2 K**
Transmitancia límite de suelos — **U_{Slim}: 0,49 W/m^2 K**
Transmitancia límite de cubiertas — **U_{Clim}: 0,38 W/m^2 K**
Factor solar modificado límite de lucernarios — **F_{Llim}: 0,28**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m^{2}K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

[1] En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,47 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas D1, D2 y D3.

ZONA CLIMÁTICA E1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	**U_{Mlim}: 0,57 W/m² K**
Transmitancia límite de suelos	**U_{Slim}: 0,48 W/m² K**
Transmitancia límite de cubiertas	**U_{Clim}: 0,35 W/m² K**
Factor solar modificado límite de lucernarios	**F_{Llim}: 0,36**

	Transmitancia límite de huecos[1] U_{Hlim} W/m²K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
					Baja carga interna			Alta carga interna		
% de huecos	N	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6 (2,9)	3,0 (3,1)	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0 (2,2)	2,4 (2,6)	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,0)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,54	0,43

[1] En los casos en que la transmitancia media de los muros de fachada U_{Mm}, definida en el apartado 3.2.2.1, sea inferior a 0,43 se podrá tomar el valor de U_{Hlim} indicado entre paréntesis para las zonas climáticas E1.

En Madrid, que está situada en la zona climática D3 (ver la tabla 14), las cubiertas no pueden tener una U mayor de 0,38 $W/m^2 \cdot K$, o en una ventana orientada a norte, en una fachada donde hay una superficie de acristalamiento del 25%, la U debe ser inferior a 2,5 $W/m^2 \cdot K$; si hubiera estado a sur habría bastado con 3,5 $W/m^2 \cdot K$, o si aún estando a norte la superficie acristalada hubiera sido del 10%, habría sido suficiente con alcanzar 3,5 $W/m^2 \cdot K$. Esta diferencia se debe a que el CTE contempla una demanda energética idéntica para cada fachada, de tal modo que si la transmitancia térmica del muro es fija, el ajuste se deberá hacer con la superficie y la transmitancia térmica del hueco.

Para determinadas orientaciones, y cuando se supere un cierto porcentaje de huecos, también es necesario comprobar que no se supera el *factor solar modificado límite.* El *factor solar modificado* (F) se calcula con la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g_\perp + FM \cdot 0{,}04 \cdot U_{H,m} \cdot \alpha] \qquad [42]$$

en la que:

F_s	Factor de sombra del hueco (tanto por uno)
FM	Fracción de hueco ocupado por el marco (tanto por uno)
$g_\perp$	Factor solar del vidrio (tanto por uno)
$U_{H,m}$	Transmitancia térmica del marco ($W/m^2 \cdot K$)
α	Absortividad del marco (tanto por uno)

Tabla 15
FACTOR SOLAR DEL VIDRIO ($g_\perp$)

Vidrio aislante	
4-4	**0,76**
5-5	**0,75**
6-6	**0,72**
8-8	**0,66**
Vidrio aislante bajo emisivo	
6-6	**0,65**

Tabla 16
ABSORTIVIDAD DEL MARCO
(Tabla E.10 del CTE)

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,95	-

El *factor de sombra* del hueco lo proporcionan los gráficos que se muestran a continuación, en función del tipo de protección solar. Si el hueco dispone de diversas protecciones simultáneas, por ejemplo, un voladizo horizontal y la propia embocadura del hueco, el *factor de sombra* se obtendrá multiplicando ambos valores. La forma de entrar en el gráfico para obtener este factor depende de la geometría del hueco y de la protección, según se aclara en los dibujos de la tabla 17.

Tabla 17
FACTORES DE SOMBRA

Tabla E.11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo

NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

ORIENTACIÓNES DE FACHADAS		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16
S	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22
S	$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
SE/SO	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27
SE/SO	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22
E/O	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43
E/O	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75

Tabla E.12: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo

ORIENTACIÓNES DE FACHADAS		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
S	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
S	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
S	$RH > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
SE/SO	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
SE/SO	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
SE/SO	$RH > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
E/O	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
E/O	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
E/O	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

Tabla E.13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas

LAMAS HORIZONTALES

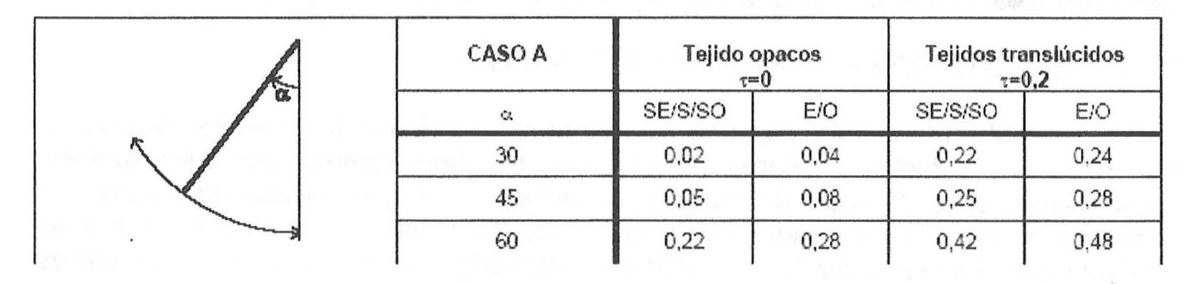
	ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
ORIENTACIÓN	0	30	60
SUR	0,49	0,42	0,26
SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

LAMAS VERTICALES

	ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
ORIENTACIÓN	-60	-45	-30	0	30	45	60
SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/ igual o inferior a 1.
El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positiv en dirección horaria.

Tabla E.14 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos



CASO A	Tejido opacos τ=0		Tejidos translúcidos τ=0,2	
α	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
30	0,02	0,04	0,22	0,24
45	0,05	0,08	0,25	0,28
60	0,22	0,28	0,42	0,48

CASO B	Tejido opacos τ=0			Tejidos translúcidos τ=0,2		
α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Tabla E.15 Factor de sombra para lucernarios

		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

Por ejemplo, un hueco con una dimensión de 1,0 x 1,0 m y una profundidad de retranqueo de 0,15 m, en el que la sombra la produce sólo la embocadura, da una R/W y una R/H de 0,15; si el hueco está orientado a sur el F_s toma un valor de 0,67 (tabla E.12). La absortividad del marco, si fuera aluminio lacado en blanco, sería, para un color blanco claro, 0,20. Para un vidrio de dos lunas de 6 mm cada una, el factor solar es de 0,72 (tabla 15). Finalmente, la ventana de 1 m^2, tiene una fracción de marco de 0,45. Introduciendo todos estos valores en la expresión [42], obtendremos:

$$F = 0{,}67 \cdot [(1 - 0{,}45) \cdot 0{,}72 + 0{,}45 \cdot 0{,}04 \cdot 2{,}85 \cdot 0{,}20] = 0{,}27$$

La tabla 18 muestra la ficha que sirve para calcular los valores medios de transmitancias y factores solares modificados. Se debe realizar por orientaciones, introduciendo en cada apartado los tipos de cerramientos que corresponde promediar y que se indican en el cuadro de la tabla 13. Se clasifican en muros, muros en contacto con el terreno, suelos, cubiertas y lucernarios, y huecos. La clasificación de baja carga interna o alta carga interna hace referencia a las cargas de calor internas de calor; donde exista una concentración de fuentes de calor elevada (ocupación, alumbrado o maquinaria) se deberá indicar como de alta carga interna, en el resto, que será lo habitual, baja carga interna.

Tabla 18
FICHA DE CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS MEDIOS
(Ficha 1 del CTE)

ZONA CLIMÁTICA		Zona de baja carga interna ☐	Zona de alta carga interna ☐

MUROS (U_{Mm}) y (U_{Tm})						
	Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 {}^oK$)	A· U ($W/{}^oK$)	Resultados	
N					$\Sigma A=$	
N					$\Sigma A \cdot U=$	
N					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
E					$\Sigma A=$	
E					$\Sigma A \cdot U=$	
E					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
O					$\Sigma A=$	
O					$\Sigma A \cdot U=$	
O					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
S					$\Sigma A=$	
S					$\Sigma A \cdot U=$	
S					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
SE					$\Sigma A=$	
SE					$\Sigma A \cdot U=$	
SE					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
SO					$\Sigma A=$	
SO					$\Sigma A \cdot U=$	
SO					$U_{Mm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	
C-TER					$\Sigma A=$	
C-TER					$\Sigma A \cdot U=$	
C-TER					$U_{Tm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	

SUELOS (U_{Sm})					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 {}^oK$)	A· U ($W/{}^oK$)	Resultados	
				$\Sigma A=$	
				$\Sigma A \cdot U=$	
				$U_{Sm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	

CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (U_{Cm}, F_{Lm})					
Tipos	A (m^2)	U ($W/m^2 {}^oK$)	A· U ($W/{}^oK$)	Resultados	
				$\Sigma A=$	
				$\Sigma A \cdot U=$	
				$U_{Cm}=\Sigma A \cdot U / \Sigma A=$	

Tipos	A (m^2)	F	A· F(m^2)	Resultados	Tipos
				$\Sigma A=$	
				$\Sigma A \cdot F=$	
				$F_{Hm}=\Sigma A \cdot F / \Sigma A=$	

HUECOS (U_{Hm} , F_{Hm})						
	Tipos	A (m²)	U (W/m² ºK)	A· U (W/ºK)	Resultados	
N					ΣA=	
					ΣA· U=	
					U_{Hm}=ΣA· U / ΣA=	

	Tipos	A (m²)	U	F	A· U	A· F(m²)	Resultados	Tipos
E							ΣA=	
							ΣA· U=	
							ΣA· F=	
							U_{Hm}=ΣA· U/ΣA=	
							F_{Hm}=ΣA· F / ΣA=	
O							ΣA=	
							ΣA· U=	
							ΣA· F=	
							U_{Hm}=ΣA· U / ΣA=	
							F_{Hm}=ΣA· F / ΣA=	
S							ΣA=	
							ΣA· U=	
							ΣA· F=	
							U_{Hm} =ΣA· U / ΣA=	
							F_{Hm} =ΣA· F / ΣA=	
SE							ΣA=	
							ΣA· U=	
							ΣA· F=	
							U_{Hm} =ΣA· U / ΣA=	
							F_{Hm} =ΣA· F / ΣA=	
SO							ΣA=	
							ΣA· U=	
							ΣA· F=	
							U_{Hm} =ΣA· U / ΣA=	
							F_{Hm} =ΣA· F / ΣA=	

En la *ficha de conformidad con la demanda energética* (tabla 19) hay que recoger, tanto los valores máximos de transmitancias térmicas del proyecto, comprobando que cumplen con los valores máximos de la tabla 12, como los valores medios de transmitancias térmicas y factores solares modificados por orientaciones, comprobando también que cumplen, en este caso, con los valores medios de la tabla 14.

Valores máximos ⇨ Comprobar con la tabla 12

Valores medios ⇨ Comprobar con la tabla 14

Para la primera parte se debe elegir, de entre los datos introducidos en la *ficha de cálculo de los parámetros característicos medios*, el **valor mayor** de las transmitancias térmicas de:

1. Muros de fachada
2. Primer metro de suelos en contacto con el terreno
3. Primer metro de muros en contacto con el suelo
4. Particiones interiores en contacto con locales no habitables
5. Cubiertas
6. Suelos
7. Vidrios de huecos y lucernarios
8. Marcos de huecos y lucernarios

9. Medianerías

En la segunda parte de la ficha se deben introducir los **valores medios**, reflejados en la *ficha de cálculo de los parámetros característicos medios* de los siguientes elementos constructivos:

Transmitancias medias:

1. Muros de fachada (para todas las orientaciones existentes)
2. Huecos y lucernarios (para todas las orientaciones existentes)
3. Cerramientos en contacto con el terreno
4. Suelos
5. Cubiertas

Factores solares modificados medios:

6. Huecos
7. Lucernarios

Tabla 19
FICHA DE CONFORMIDAD CON LA DEMANDA ENERGÉTICA
(Ficha 2 del CTE)

FICHA 2 CONFORMIDAD- Demanda energética

Primera parte (valores máximos)

ZONA CLIMÁTICA		Zona de baja carga interna ☐	Zona de alta carga interna ☐

Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica	$U_{max(proyecto)}$ (1)		U_{max} (2)
Muros de fachada		≤	
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno			
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables			
Suelos		≤	
Cubiertas		≤	
Vidrios de huecos y lucernarios		≤	
Marcos de huecos y lucernarios			
Medianerías		≤	
Particiones interiores (edificios de viviendas)(3)		≤	1,2W/m2K

Segunda parte (valores medios)

MUROS DE FACHADA	U_{Mm} (4)		U_{Mlim} (5)
N		≤	
E			
O			
S			
SE			
SO			

HUECOS Y LUCERNARIOS	U_{Hm} (4)		U_{Hlim} (5)	F_{Hm} (4)		F_{Hlim} (5)
N		≤				
E		≤			≤	
O						
S		≤			≤	
SE		≤			≤	
SO						

CERR. CONTACTO TERRENO		
U_{Tm} (4)		U_{Mlim} (5)
	≤	

SUELOS		
U_{Sm} (4)		U_{Slim} (5)
	≤	

CUBIERTAS		
U_{Cm} (4)		U_{Clim} (5)
	≤	

LUCERNARIOS		
F_{Lm}		F_{Llim}
	≤	

Tabla 20
DATOS CLIMÁTICOS MENSUALES
(Tabla G.2 del CTE)

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T_{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR_{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T_{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR_{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T_{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR_{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Avila	T_{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR_{med}	75	70	62	61	55	50	39	40	50	65	73	77
Badajoz	T_{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR_{med}	80	76	69	66	60	55	50	50	57	68	77	82
Barcelona	T_{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR_{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71
Bilbao	T_{med}	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
	HR_{med}	73	70	70	72	71	72	73	75	74	74	74	74
Burgos	T_{med}	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
	HR_{med}	86	80	73	72	69	67	61	62	67	76	83	86
Caceres	T_{med}	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
	HR_{med}	55	53	60	63	65	76	76	76	78	74	65	57
Cádiz	T_{med}	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
	HR_{med}	77	75	70	71	71	70	69	69	70	73	76	77
Castellón	T_{med}	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
	HR_{med}	68	66	64	66	67	66	66	69	71	71	73	69
Ceuta	T_{med}	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
	HR_{med}	87	87	88	87	87	87	87	87	89	89	88	88
Ciudad Real	T_{med}	5,7	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
	HR_{med}	80	74	66	65	59	54	47	48	57	68	78	82
Córdoba	T_{med}	9,5	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
	HR_{med}	80	75	67	65	58	53	46	49	55	67	76	80
A Coruña	T_{med}	10,2	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	18,1	15,7	12,7	10,9
	HR_{med}	77	76	74	76	78	79	79	79	79	79	79	78
Cuenca	T_{med}	4,2	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR_{med}	78	73	64	62	58	54	44	46	56	68	76	79
Girona	T_{med}	6,8	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
	HR_{med}	77	73	71	71	70	67	62	68	72	76	77	75
Granada	T_{med}	6,5	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
	HR_{med}	76	71	64	61	56	49	42	42	53	62	73	77
Guadalajara	T_{med}	5,5	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
	HR_{med}	80	76	69	68	67	62	53	54	61	72	79	81
Huelva	T_{med}	12,2	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
	HR_{med}	76	72	66	63	60	59	54	54	60	67	72	75
Huesca	T_{med}	4,7	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
	HR_{med}	80	73	64	63	60	56	48	53	61	70	78	81
Jaén	T_{med}	8,7	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
	HR_{med}	77	72	67	64	59	53	44	45	55	67	75	77
León	T_{med}	3,1	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
	HR_{med}	81	75	66	63	60	57	52	53	60	72	78	81
Lleida	T_{med}	5,5	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
	HR_{med}	81	69	61	56	55	54	47	54	62	70	77	82
Logroño	T_{med}	5,8	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
	HR_{med}	75	68	62	61	59	56	55	56	61	69	73	76
Lugo	T_{med}	5,8	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	6,3
	HR_{med}	85	81	77	77	76	76	75	75	77	82	84	85

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Madrid	T_{med}	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
	HR_{med}	71	66	56	55	51	46	37	39	50	63	70	73
Málaga	T_{med}	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
	HR_{med}	71	70	66	65	61	59	60	63	65	70	72	72
Melilla	T_{med}	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
	HR_{med}	72	72	71	70	69	68	67	68	72	75	74	73
Murcia	T_{med}	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
	HR_{med}	72	69	69	68	70	71	72	74	73	73	73	73
Ourense	T_{med}	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
	HR_{med}	83	75	69	70	67	64	61	62	64	73	83	84
Oviedo	T_{med}	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
	HR_{med}	77	75	74	77	79	80	80	80	78	78	78	76
Palencia	T_{med}	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
	HR_{med}	84	77	71	70	67	64	58	59	63	73	80	85
Palma de Mallorca	T_{med}	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
	HR_{med}	71	69	68	67	69	69	67	71	73	72	72	71
Palmas, Las	T_{med}	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
	HR_{med}	68	67	65	66	65	67	66	67	69	70	70	68
Pamplona	T_{med}	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
	HR_{med}	80	73	68	66	66	62	58	61	61	68	76	79
Pontevedra	T_{med}	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
	HR_{med}	74	73	69	67	68	66	65	65	69	72	73	74
S ,Sebastian	T_{med}	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
	HR_{med}	76	74	74	79	79	82	82	83	79	76	76	76
Salamanca	T_{med}	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
	HR_{med}	85	78	69	66	62	58	50	53	62	74	82	86
Santa Cruz de Tenerife	T_{med}	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
	HR_{med}	66	66	62	61	60	59	56	58	63	65	67	66
Santander	T_{med}	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
	HR_{med}	71	71	71	74	75	77	77	78	77	75	73	72
Segovia	T_{med}	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
	HR_{med}	75	71	65	65	61	55	47	49	55	65	73	78
Sevilla	T_{med}	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
	HR_{med}	79	75	68	65	59	56	51	52	58	67	76	79
Soria	T_{med}	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
	HR_{med}	77	73	68	67	64	60	53	54	60	70	76	78
Tarragona	T_{med}	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
	HR_{med}	66	63	59	59	61	60	59	62	67	70	68	66
Teruel	T_{med}	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
	HR_{med}	72	67	60	60	60	55	50	54	59	66	71	76
Toledo	T_{med}	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
	HR_{med}	78	72	59	62	55	47	43	45	54	68	77	81
Valencia	T_{med}	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
	HR_{med}	63	61	60	62	64	66	67	69	68	67	66	64
Valladolid	T_{med}	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR_{med}	82	72	62	61	57	52	44	46	53	67	77	83
Vitoria	T_{med}	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
	HR_{med}	83	78	72	71	71	71	69	70	70	74	81	83
Zamora	T_{med}	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
	HR_{med}	83	75	65	63	59	54	47	50	58	70	79	83
Zaragoza	T_{med}	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5
	HR_{med}	76	69	60	59	55	52	48	54	61	70	75	77

NOTAS

NOTAS

NOTAS

CUADERNO

245.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN
cuadernos.ijh@gmail.com
info@mairea-libros.com

ISBN 978-84-9728-254-3

